EXPOSÉ DES TITRES

ET

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DU

Dr A. D'ARSONVAL

PROFESSEUR SUPPLÉANT AU COLLÈGE DE FRANCE
DIRECTEUR DU LABORATOIRE DE PHYSIQUE BIOLOGIQUE (HAUTES ÉTUDES)
MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

PARIS
IMPRIMERIE DE LA COUR D'APPEL
L. MARETHEUX, Directeur
SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 135,000 FRANCS
1, RUE CASSETTE, 1

1894

TITRES ET FONCTIONS

Interne des hôpitaux de Limoges (1871-1873).

Externe des hôpitaux de Paris (1873).

Préparateur au Collège de France (1874, chaire de médecine).

Docteur en médecine (Faculté de Paris, 1877).

Directeur du Laboratoire de physique biologique annexé à la chaire de médecine du Collège de France et créé pour M. d'Arsonval (1882).

Chargé, comme remplaçant, du cours de médecine au Collège de France pendant le semestre d'hiver durant cinq années (1882 à 1887).

Nommé professeur suppléant au Collège de France pendant sept années consécutives (1887 à 1894).

ENSEIGNEMENT

Cours de médecine du Collège de France.

Pendant douze années consécutives (de 1882 à 1894), M. d'Arsonval a exposé les principes de la physique biologique dans la chaire de médecine du Collège de France, les cinq premières années comme remplaçant, et les sept dernières comme suppléant du professeur Brown-Séquard.

Les 450 leçons ou conférences composant cet enseignement sont restées inédites. L'auteur a principalement exposé ses propres recherches sur la chaleur et la thermodynamique animales, l'électrophysiologie, l'électrothérapie, la respiration, le travail musculaire, etc., recherches dont l'exposé se trouve résumé dans la présente notice.

RÉCOMPENSES,

DISTINCTIONS ET SOCIÉTÉS SAVANTES

Lauréat de la Faculté de médecine de Paris (Thèse, 1877).

Lauréat de l'Institut, prix de Physiologie expérimentale (1881).

Lauréat de l'Institut, prix de Physiologie expérimentale (1889).

Lauréat de l'Institut, prix La Caze (Physiologie, 1893).

Officier d'Académie (1881).

Chevalier de la Légion d'honneur (1884).

Membre et secrétaire du Congrès international des Électriciens (Commission d'électrophysiologie, 1881).

Président de la Société Française d'électrothérapie.

Vice-président de la Société internationale des Électriciens.

Ancien vice-président de la Société de Biologie.

Membre de l'Académie de médecine.

Membre du jury des récompenses aux expositions de 1881 et 1889.

AVANT-PROPOS

Les recherches de physiologie, que M. d'Arsonval poursuit depuis vingt ans au Collège de France, sont orientées, pour la plupart, dans une voie nouvelle : la *Physique Biologique*. Ses études ont porté sur diverses questions : chaleur, lumière, électricité, magnétisme, envisagés dans leurs rapports avec les êtres vivants ; on trouvera plus loin l'analyse des notes et mémoires publiés par l'auteur. Ce court avant-propos a pour objet de montrer comment ces travaux, en apparence si étrangers les uns aux autres, se rattachent néanmoins au développement d'une même idée suivie systématiquement dans ses diverses conséquences.

La physique biologique est une branche de la physiologie proprement dite ; elle s'en distingue néanmoins par les méthodes d'investigation qu'elle emploie, méthodes qui sont beaucoup plus générales et qui permettent de procéder à la mesure précise des phénomènes vitaux.

La physiologie classique étudie le fonctionnement d'agrégats cellulaires homogènes constituant les systèmes organiques, ainsi que la subordiuation de ces divers systèmes dont l'ensemble harmonique résume l'être vivant. Sa méthode d'investigation de prédilection, pour ne pas dire sa méthode unique, est la vivisection qui procède par ablation, section ou excitation des divers organes. Cette physiologie, fille de l'Ecole d'Alexandrie, a donné les beaux résultats que l'on connaît entre les mains de Magendie, de Claude Bernard et de Brown-Séquard pour ne citer que les grands noms qui ont illustré la chaire de médecine du Collège de France.

Cette physiologie est celle qui s'appliqua tout d'abord le plus directement à l'homme en ce qu'elle put éclairer le fonctionnement des

grands *mécanismes vitaux :* innervation, circulation, respiration, locomotion, etc...

Mais à côté des *mécanismes vitaux*, quelle que soit leur importance, il y a les *phénomènes vitaux* qui sont indépendants des systèmes organiques, qui sont même indépendants de la *cellule*, et par conséquent de la *forme*, puisqu'on les retrouve intégralement dans le *Protoplasma* amorphe.

Pour étudier la vie de la cellule, et *a fortiori* la vie du protoplasma libre, la vivisection perd tous les avantages qu'elle avait pour l'étude des mécanismes vitaux Elle devient impuissante et son insuffisance a été proclamée par Claude Bernard lui-même lorsqu'il a fondé la *Physiologie générale*. Il demandait, en effet, qu'à côté du laboratoire de vivisection fussent installés un laboratoire de *Chimie* et un laboratoire de *Physique Biologique*. C'est à l'instigation et sous la direction de ce maître que M. d'Arsonval, le dernier venu de ses élèves, s'est engagé dans la voie qu'il a suivie depuis. C'est en 1882, que pour la première fois en France, la *Physique Biologique* fut officiellement reconnue. Paul Bert, confident de la pensée du maître, s'en fit l'exécuteur alors qu'il était ministre de l'instruction publique. Le laboratoire de Physique Biologique qu'il fonda fut annexé à la chaire de médecine du Collège de France et la direction en fut donnée à M. d'Arsonval, suivant le double désir exprimé par Claude Bernard. Son successeur, Brown-Séquard, pour donner plus de relief à cet enseignement nouveau, appela bientôt M. d'Arsonval à l'honneur d'une suppléance qui a duré douze ans ; plus tard, l'éminent physiologiste le prit pour collaborateur et les travaux qu'ils publièrent en commun établirent définitivement la fusion de la physiologie et de la physique biologique.

La physique biologique, en étudiant l'action des agents physiques sur la cellule, nous donne le moyen d'agir puissamment sur les phénomènes les plus intimes de la vie, tels que la nutrition et l'innervation. On verra plus loin (n°s 13, 14 et 15) comment, par une application, systématiquement étudiée, des diverses modalités de l'énergie électrique, M. d'Arsonval a pu modifier profondément la nutrition, la sensibilité générale et l'innervation vasculaire. Ces nouveaux procédés de *thérapeutique physique*, qui dérivent de la physique biologique, sont appelés à rendre de réels services à l'art de guérir. Déjà, l'analyse du mécanisme de la mort par l'électricité, a fourni à l'auteur la possibilité de sauver

la vie aux malheureux foudroyés par les courants alternatifs industriels, courants qui étaient considérés, avant ses recherches, comme si fatalement mortels, que les Américains en avaient fait un procédé d'exécution. La physique biologique n'est donc pas une branche purement spéculative de la physiologie puisqu'elle peut doter la thérapeutique de nouveaux moyens d'action, et apporter, elle aussi, son contingent à l'art de guérir.

L'être vivant, quelque simple ou compliqué qu'il soit, envisagé dans ses rapports avec le monde extérieur, obéit fatalement aux deux grandes lois de la conservation de la matière et de l'énergie. Au point de vue de la physique biologique, l'être vivant doit donc être étudié comme constituant un simple *transformateur* de l'énergie qu'il puise au dehors. Il fait de la chaleur, de la lumière, de l'électricité, du travail mécanique, etc., mais par des procédés qui lui sont particuliers et qui tiennent à son organisation même. Ce transformateur d'énergie a, en un mot, un *modus faciendi* qui lui est propre.

L'étude de ces modalités de transformation différencie absolument la physique biologique de la physique générale, car pour les étudier il faut d'abord être physiologiste. Il faut également être physicien, condition avantageuse mais non indispensable pour faire de la physiologie pure.

Le sujet d'étude et le but de la physique biologique étant différents de ceux poursuivis par la physique pure, il en est de même des appareils et des méthodes d'investigation. Les phénomènes vitaux sont très fugaces ; il faut, suivant l'expression de Claude Bernard, les saisir au vol, par conséquent les appareils servant à les mesurer doivent donner des indications très rapides.

Cette rapidité ne doit pas nuire à leur précision, mais elle permet de suivre les *phases* du phénomène, connaissance presque toujours plus importante en biologie, qu'une mesure absolue mais unique.

M. d'Arsonval a donc dû s'attacher tout d'abord à imaginer des méthodes et des instruments nouveaux répondant aux exigences du sujet. Il y a consacré de nombreuses années. Il s'est trouvé que quelques-uns de ces instruments, combinés pour les besoins de la physique biologique, ont reçu de nombreuses applications en dehors d'elle. Cette extension, toute naturelle, ne saurait d'ailleurs enlever leur caractère spécial aux travaux de l'auteur. Voici de quelle façon M. Marey les résumait

récemment devant l'Académie au nom de la Commission du prix La Caze de physiologie.

PRIX LA CAZE (PHYSIOLOGIE)

Commissaires : La Section de Médecine et Chirurgie : MM. Chauveau, Ranvier, Milne-Edwards, Marey, rapporteur.

M. d'Arsonval, à qui la Commission a décerné le prix pour 1893, a fait faire de grands progrès à l'étude des phénomènes physiques de la vie; il s'est occupé plus spécialement de la chaleur et de l'électricité animales. Il a créé lui-même un grand nombre d'instruments extrêmement ingénieux qui lui ont permis de faire des découvertes d'une haute importance et d'introduire en Physiologie des mesures d'une précision extrême.

En ce qui concerne la chaleur animale, M. d'Arsonval a substitué au calorimètre de glace, d'un emploi si difficile, des méthodes nouvelles qu'il a créées et qui permettent de mesurer exactement les *quantités* de chaleur dégagées par un être vivant quelconque et pendant un temps indéfini. Cette mesure se fait automatiquement, sans nécessiter de corrections, et les phases du dégagement de chaleur s'inscrivent, dans les appareils de M. d'Arsonval, sous forme d'une courbe continue dont l'analyse fournit tous les éléments nécessaires pour résoudre les questions naguère si obscures de la thermogenèse animale.

Les appareils à température constante de M. d'Arsonval sont aujourd'hui répandus dans tous les laboratoires; ils sont la base de ses appareils calorimétriques; en effet, la chaleur dégagée par l'animal se déduit de la quantité d'eau qui a traversé l'appareil et qui, y pénétrant à la température de zéro, en ressort à la température pour laquelle on a réglé le calorimètre.

L'Académie a déjà sanctionné la valeur de ces appareils en accordant deux fois à leur auteur le prix Montyon de Physiologie.

Avec ses divers calorimètres, M. d'Arsonval a pu résoudre les problèmes physiologiques suivants :

1° Influence du poids et de la taille de l'animal sur la quantité de chaleur qu'il dégage; 2° de l'espèce sur cette quantité de chaleur;

3° des téguments; 4° de la température ambiante; 5° de la pression barométrique; 6° de la composition du milieu respirable; 7° de l'abstinence; 8° de la digestion; 9° de la lumière et de l'obscurité; 10° de divers enduits appliqués sur la peau; 11° du développement embryonnaire; 12° de la fièvre; 13° des irritations périphériques; 14° des divers anesthésiques; 15° du repos et de l'activité musculaires, 16° de la sécrétion cutanée, etc.

Ce savant a également déterminé le coefficient de partage de la chaleur émise par le poumon et par la surface du corps. Il a montré les causes d'erreur que l'on pourrait commettre si l'on voulait apprécier, d'après la température propre à une espèce animale, la quantité de chaleur qu'elle produit.

Pour les mesures délicates de température, l'auteur a également imaginé des appareils thermo-électriques spéciaux avec lesquels il observe, au sein des tissus, les plus faibles variations de température. C'est avec ces appareils qu'il a montré ce fait surprenant qu'une excitation nerveuse, insuffisante pour produire dans un muscle un mouvement appréciable, amène cependant dans ce muscle une production de chaleur et une augmentation des combustions organiques, *même en l'absence de toute circulation sanguine.*

Dans le domaine de l'électrophysiologie et des applications de l'électricité à la thérapeutique, M. d'Arsonval a réalisé des découvertes peut-être plus importantes encore.

Ses divers appareils de mesures électriques, ses galvanomètres, ses électrodes impolarisables, ses excitateurs divers reposent sur des données absolument nouvelles. Leur grande précision et leur maniement facile les ont fait adopter aussi bien dans les laboratoires de Physiologie que pour les recherches industrielles.

Étudiant avec ses appareils la variation négative des nerfs et des muscles et la décharge des poissons électriques, M. d'Arsonval est arrivé à ramener tous ces phénomènes aux lois générales de l'électricité, et à montrer qu'ils se rattachent aux variations de la tension superficielle des éléments organiques conformément aux principes découverts par notre confrère Lippmann.

M. d'Arsonval a imaginé un nouveau *chronomètre électrique* pour mesurer la vitesse de l'agent nerveux à l'état sain et dans les différentes maladies. On lui doit aussi le *myophone* qui, traduisant par des sons

téléphoniques les plus faibles vibrations musculaires, lui a permis de voir que, même en rigidité cadavérique, un muscle obéit encore à l'action de ses nerfs et que tous les tissus contractiles vivants séparés du corps réagissent à l'action de la lumière, comme le fait l'iris, suivant la découverte mémorable de notre confrère Brown-Séquard.

D'autres fois, M. d'Arsonval, transformant un muscle en un véritable téléphone, s'en est servi pour reproduire la vibration de la parole articulée, montrant ainsi que la fibre musculaire peut répondre parfois à plus de 5,000 excitations par seconde.

Enfin, voulant donner par la synthèse une démonstration de ses théories sur la contraction musculaire, M. d'Arsonval a imaginé le *muscle artificiel*, élégant appareil qui, sous l'action d'un courant électrique, présente dans les éléments qui le constituent des changements de tension superficielle, et se raccourcit en produisant du travail.

Dans un autre ordre d'idées, M. d'Arsonval a cherché à régler les applications de l'électricité comme excitant des tissus vivants.

Le Congrès des Électriciens réuni à Paris en 1881 avait formulé le vœu de voir introduire en physiologie et en thérapeutique une mesure des excitations électriques les rendant toujours comparables entre elles. M. d'Arsonval a cherché à réaliser cette unification de l'excitant électrique. Il a montré que l'état variable du courant excitateur peut être défini par une courbe qu'il appelle la *caractéristique de l'excitation* et que cette courbe étant connue, on peut prévoir les effets que l'excitation devra produire sur les nerfs et sur les muscles.

Une fois maître des excitants qu'il emploie sur les organes vivants, M. d'Arsonval a tiré de ses méthodes d'utiles applications au diagnostic des maladies; il a montré, bien avant M. Tesla, les singuliers effets des excitations de très grande fréquence; ainsi, en employant les excitations de forme sinusoïdale de fréquence croissante, il a vu que le corps humain peut être impunément traversé par des courants puissants, répétés plusieurs millions de fois par seconde, tandis que ces mêmes courants auraient une action foudroyante si leur fréquence était réduite et ne produisait que quelques centaines d'excitations par seconde.

Mais ces courants de haute fréquence, s'ils sont inoffensifs, n'en ont pas moins des effets puissants sur l'organisme; ils produisent l'anesthésie locale, ils dilatent les vaisseaux et abaissent la pression du sang dans les artères; ils augmentent les échanges gazeux respiratoires.

Ainsi, M. d'Arsonval a doté la thérapeutique de moyens nouveaux très précieux qui sont, d'une part, l'électrisation par les courants voltaïques de forme sinusoïdale à basse fréquence, avec lesquels il produit à volonté des excitations bien définies des muscles et des nerfs de l'homme, et, d'autre part, les courants de haute fréquence, avec lesquels il produit, par induction à distance, des effets qui semblent appelés à produire sur l'organisme de très utiles modifications.

Dans cet exposé sommaire des titres de M. d'Arsonval, nous avons dû passer sous silence un grand nombre de découvertes de physique pure ou de physiologie malgré l'intérêt qu'elles présentent.

Nous rappellerons toutefois, en terminant, les si intéressants travaux faits par l'auteur, en collaboration avec son maître, M. Brown-Séquard. C'est avec les ingénieux dispositifs créés par M. d'Arsonval, que les effets du poison pulmonaire ont été mis en évidence; c'est M. d'Arsonval qui a trouvé le moyen de stériliser à froid les liquides de l'organisme et de rendre facilement applicable une méthode thérapeutique qui a pris dans ces dernières années un si grand développement. Avec autant de modestie que de loyauté, notre savant confrère M. Brown-Séquard affirmait devant la Commission que la part de M. d'Arsonval est au moins égale à la sienne dans la découverte des propriétés des liquides organiques et dans la démonstration de ce fait, que le rein, en particulier, outre la sécrétion qui lui est propre, produit une sécrétion interne spéciale indispensable à la vie.

En présence de tant de travaux si importants et si divers, votre Commission a été unanime pour décerner à M. d'Arsonval le prix La Caze de physiologie pour l'année 1893.

Dans l'analyse qui va suivre, l'auteur, imitant le rapporteur, signalera seulement ceux de ses travaux qui se rapportent directement à la physiologie.

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

SECTION I

ÉLECTRICITÉ D'ORIGINE ANIMALE OU ÉLECTROGENÈSE ORGANIQUE

Tous les êtres vivants *produisent* de l'électricité.

Tous les êtres vivants *réagissent* à l'électricité.

De là deux études différentes, suivant qu'on considère l'être vivant comme *générateur* ou, au contraire, comme *récepteur* d'électricité.

1° Électrogenèse animale. — La production d'électricité est un phénomène général qui accompagne tout acte de *nutrition* ou de *mouvement*. De là deux espèces de courants électriques, *d'origine animale*, dont la nature et les causes sont différentes. A la nutrition correspondent des courants continus et constants, dits *courants de repos*. A l'entrée en fonction de divers organes (nerfs, tissus contractiles, glandes, etc.), des courants passagers, dits *courants d'action* ou oscillation négative.

Pour étudier ces courants, deux instruments sont indispensables, savoir :

1° Les électrodes impolarisables;

2° Le galvanomètre.

N° 1. — *Electrodes impolarisables homogènes.*

(Société de Biologie, 2 mai 1885.)

Le galvanomètre est relié aux tissus par des conducteurs qui doivent être incapables à la fois d'altérer la substance vivante et de produire des courants parasites.

Avec les électrodes habituellement employées (zinc-sulfate de zinc) et dont le principe est dû à J. Regnauld, on est obligé d'empêcher le contact du tissu avec la solution de sulfate de zinc, en interposant un corps poreux ou plastique, imprégné d'une solution à 6 p. 1000 de chlorure de sodium, solution qui a la propriété de ne pas attaquer le

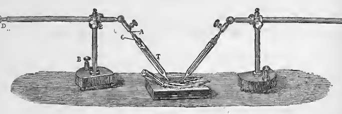


Fig. 1.

tissu organique. Les électrodes, ainsi constituées, ne sont pas *homogènes*, c'est-à-dire qu'elles donnent une déviation au galvanomètre, alors même qu'elles sont réunies par un conducteur ne présentant aucune force électromotrice. J'ai reconnu que cette non-homogénéité provenait des courants électro-capillaires qui prennent naissance aux points de séparation des deux solutions : chlorure de sodium et sulfate de zinc. Le seul moyen de remédier à ce grave inconvénient était donc de trouver des électrodes à la fois *impolarisables* et *insolubles* dans la solution physiologique de chlorure de sodium.

Un fil d'argent, recouvert de chlorure d'argent fondu, remplit ces deux conditions.

Mes électrodes se composent simplement, ainsi qu'on peut le voir sur la figure 1, d'un tube de verre effilé en pointe, rempli de la solution physiologique, dans laquelle trempe le fil d'argent chloruré. Ces élec-

trodes peuvent recevoir les formes les plus variées. On peut même les mettre directement en contact avec les liquides de l'organisme qui contiennent normalement du chlorure de sodium; le chlorure d'argent, à cause de son insolubilité, est sans action sur les tissus.

En leur donnant la forme d'une aiguille à acupuncture, on peut enfoncer, sans aucun inconvénient, ces électrodes dans les muscles ou les tissus de l'homme vivant. J'ai pu ainsi constater sur moi-même le courant de repos et la variation négative, lors de la contraction du muscle biceps.

Cette condition m'a singulièrement facilité l'étude de ces courants, tout en rendant les expériences bien plus probantes que lorsqu'on agissait sur des tissus séparés de l'organisme.

N° 2. — *Galvanomètres à circuit mobile.*

(*La Lumière électrique*, 7 septembre 1881.)

Le galvanomètre doit être à la fois *très sensible*, *très rapide* dans ses indications, et ne pas être dévié par des causes autres que le courant qu'il s'agit de mesurer.

Le galvanomètre classique à aimant mobile ne remplissait pas ces conditions. J'ai imaginé, en collaboration avec Marcel Deprez, un galvanomètre dans lequel *c'est le courant qui est mobile et non l'aimant.* Il en résulte deux grands avantages : 1° l'instrument ne peut être influencé par des causes étrangères; 2° il est absolument *apériodique* et *instantané*, c'est-à-dire que, traversé par un courant, il prend immédiatement sa position d'équilibre sans osciller. J'ai imaginé cet instrument en modifiant un galvanomètre de M. Deprez, dans lequel le courant n'était pas mobile. M. Deprez, en décrivant cet instrument sous le nom de galvanomètre Deprez-d'Arsonval, m'a attribué, avec une grande loyauté, la part qui me revenait dans les termes suivants (Voir *Lumière électrique* du 7 septembre 1881) :

« Pour satisfaire à ces conditions (rapidité et sensibilité qui, au premier abord, paraissent inconciliables), M. d'Arsonval a eu l'heureuse idée d'apporter à mon galvanomètre une modification qui n'en change pas le nombre des organes, mais qui permet de rendre la force antagoniste aussi faible qu'on veut, tout en augmentant l'action mécanique du courant sur l'aiguille. M. d'Arsonval a été conduit à cette disposition

en remarquant que cette action mécanique est accompagnée d'une réaction égale et contraire de l'aiguille sur le courant, et que, par conséquent, *si l'on fixe l'aiguille et qu'on rende le courant mobile*, on n'altère pas le moment de l'effort exercé par le cadre galvanométrique sur l'aiguille, tandis que l'effet antagoniste est annulé. »

J'emploie deux modèles différents, spécialement disposés pour les

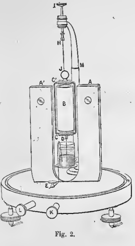


Fig. 2.

besoins de la physiologie. Un premier modèle (fig. 2) se compose d'un puissant aimant en fer à cheval AA', dressé verticalement sur un socle à vis calantes; un support vertical M soutient un tube de fer doux B entre les branches de l'aimant. Dans le double champ magnétique ainsi constitué peut se mouvoir un cadre de fil de cuivre isolé CC', supendu par un fil d'argent H, soutenu lui-même par la potence MI. Un bouton moleté I permet de soulever le cadre et de l'orienter par rapport au champ magnétique. Un miroir J, solidaire du cadre, permet de lire la déviation par la méthode du miroir combiné ou non avec une échelle micrométrique. Ce cadre porte inférieurement un fil de platine D qui trempe

dans un godet à mercure que surmonte une dissolution de cyanure de potassium, un des bouts du fil enroulé sur le cadre correspond au fil JH, et se trouve mis en contact avec la potence M et la borne K. Un second fil de platine, trempant dans le mercure, met, par la vis E, le second

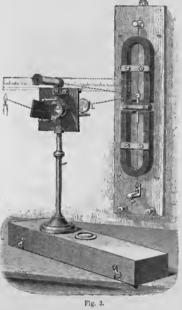


Fig. 3.

bout du fil formant le cadre mobile, en contact avec la borne L. Le courant à mesurer entrant par K monte le long de la colonne M, descend par le fil de suspension KJ, traverse le cadre CC' et ressort par D, pour aboutir à la vis E et à la borne L. Le fil d'argent HJ a environ 5 centièmes de millimètre. Il sert à la fois de conducteur au courant, d'axe de rotation au cadre galvanométrique, et de ressort antagoniste mesurant

la force qui tend à dévier le cadre. La sensibilité de cet appareil est égale à celle des meilleurs galvanomètres Thomson. La figure 3 représente un appareil du même genre mais encore plus sensible.

Dans ce modèle, le grand axe du cadre galvanométrique est dirigé horizontalement, de façon à augmenter le bras de levier; de plus, ce cadre est noyé dans quatre champs magnétiques très puissants obtenus au moyen de deux gros aimants en fer à cheval qui se regardent par les pôles de même nom et qui sont séparés par un prisme de fer doux, autour duquel tourne le cadre mobile. Les actions de ces quatre champs sont concordantes et tendent à dévier le cadre dans la même direction.

La lecture des déviations se fait comme ci-dessus, et l'appareil se fixe le long d'un mur par un simple clou.

On lit la déviation par la méthode ordinaire (lampe, échelle, miroir) ou, si l'on veut une précision et une sensibilité beaucoup plus grandes, à l'aide de mon échelle micrométrique.

N° 3. — *Échelle micrométrique pour la mesure des faibles déviations angulaires.*

(Société de physique et *La Lumière électrique.*)

Cet appareil permet de mesurer avec une grande précision les plus faibles déviations angulaires. C'est là un double avantage :

1° Parce que les indications sont beaucoup plus rapides;

2° Parce que les déviations sont rigoureusement proportionnelles aux intensités.

La figure schématique n° 4 représente le principe optique de l'appareil. Un prisme ou un miroir P éclaire vivement une échelle I divisée sur verre en vingtièmes de millimètre. Le miroir concave M du galvanomètre, combiné avec la lentille O, donne une image réelle de cette échelle, on observe cette image aérienne à l'aide d'un microscope L qui en donne une image très agrandie en I'. L'image donnée par le miroir M devant supporter des grossissements de vingt à cent diamètres, j'ai dû donner à ce miroir une forme spéciale.

On voit que *la sensibilité du galvanomètre est ainsi augmentée optiquement dans la proportion du grossissement.* Avec un grossissement de vingt diamètres, on apprécie, avec la plus grande facilité, une déviation de 1/400e de degré du cercle.

Cette échelle est représentée en perspective (fig. 3). Le tout est monté sur un pied unique.

L'échelle micrométrique est placée entre le miroir éclaireur et la lentille L. L'oculaire grossissant se trouve au-dessus, comme on le voit sur la figure.

L'échelle micrométrique et le microscope sont mobiles. En rempla-

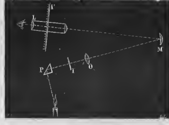


Fig. 4.

çant cette échelle micrométrique par un simple fil vertical, et l'oculaire par une échelle transparente, divisée sur celluloïde, figurée en pointillé sur le dessin, on transforme l'appareil en une échelle transparente de Carpentier, commode lorsqu'on n'a pas besoin de toute la sensibilité de l'appareil.

J'ai donné à cet appareil bien d'autres formes suivant les besoins. Il est devenu aujourd'hui d'un usage général en physiologie, en physique et en électrothérapie. Je me borne ici à décrire les modèles employés dans mes recherches.

N° 4. — *Galvanomètre universel apériodique.*

Dans certaines circonstances il est commode d'avoir un appareil pouvant se prêter à toutes les mesures. Certains expérimentateurs préfèrent, d'autre part, la boussole des tangentes pour les mesures absolues.

J'ai combiné le modèle suivant qui joint une sensibilité variable à l'apériodicité, en modifiant la boussole de Wiedemann.

Il se compose (fig. 5 et 6) de deux parties distinctes : 1° une partie

fixe constituant le socle et les bobines; 2° une partie mobile qui porte l'équipage magnétique, le miroir et le barreau aimanté compensateur.

Partie fixe. — Sur un plateau circulaire P se trouve fixée de champ, suivant un diamètre, une règle divisée R. Le plateau repose sur trois pointes, dont deux seulement sont des vis calantes VV'. La ligne qui les

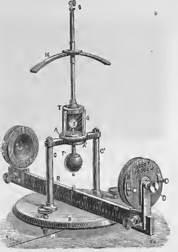


Fig. 5. — Socle et bobine du galvanomètre universel apériodique.

joint est perpendiculaire à la direction de la ligne R, de sorte qu'il suffit de placer les vis calantes VV' sur la ligne du méridien magnétique pour que l'appareil soit orienté une fois pour toutes. Le long de la règle glissent deux équerres fendues EE', munies de vis de serrage. La partie supérieure porte un bouton à vis D qui sert à fixer les bobines circulaires où passe le courant à mesurer. Ces bobines en bois sont creusées d'une cavité hémisphérique pour loger l'amortisseur en cuivre rouge 6. Le remplacement de ces bobines est des plus simples et l'appareil en porte deux jeux : un premier à fil long et fin, et un second à fil gros et court

pour les recherches thermo-électriques. De chaque côté de la règle R s'élèvent deux colonnes cylindriques CC', reliées à leur partie supérieure par une traverse A' percée d'un trou circulaire sur lequel vient pivoter le système mobile A. Cet ensemble, tout en cuivre, bien entendu, représente la partie de l'appareil qu'on laisse toujours en place.

Partie mobile. — La partie mobile (équipage magnétique et amortisseur) forme également un tout. Elle se compose d'une boîte cylindrique T, dont la base supérieure est surmontée d'un tube métallique le long duquel glisse l'aimant compensateur M, et que termine un bouchon mobile 4 portant un treuil autour duquel s'enroule le cocon qui soutient l'équipage magnétique. La base inférieure A, munie d'un rebord moleté, vient s'engager à frottement doux dans l'anneau A' et sert de pivot. Cette base se termine par un tube T' soutenant l'amortisseur mobile 6. Le tambour T est percé d'une ouverture carrée portant une glace G qui s'enlève à volonté pour manier le miroir 1 et le crochet de suspension 5. La glace 6 est légèrement oblique, ce qui évite les reflets gênants pour la lecture lorsque la glace et le miroir sont parallèles. Le fil de cocon qui part du treuil 4 est terminé par un petit crochet 5 auquel on suspend l'aimant mobile. L'équipage magnétique se compose d'un petit aimant en fer à cheval 3, très puissant en raison de sa forme, car il peut porter jusqu'à soixante fois son propre poids. Il est vissé à un fil métallique qui vient s'engager à frottement doux dans la monture du miroir 1, ce qui fait qu'on peut orienter ce dernier dans tous les azimuts pour la lecture des déviations. L'amortisseur se compose d'une sphère massive en cuivre rouge 6, percée d'un trou cylindrique dans lequel vient pivoter l'aimant avec un peu de jeu Vu la grande masse de la sphère 6, l'amortissement est considérable et le même dans tous les azimuts. Cet amortisseur est mobile; on peut le supprimer complètement ou le remplacer par des amortisseurs moins puissants comme 6', ou par l'amortisseur variable 6'', qui se compose d'un seul anneau de cuivre rouge dans lequel on fait plonger plus ou moins l'aimant mobile.

Si l'on veut astatiser l'instrument, on se sert du barreau compensateur (barreau d'Haüy) à la façon habituelle. On peut astatiser à la façon de Nobili en plaçant au-dessous du miroir 1 un deuxième aimant en fer à cheval 2, semblable à l'aimant 2, mais orienté en sens inverse. Enfin on peut remplacer cet équipage par un équipage Thomson simple ou

double. Comme toutes les parties 1. 2, 3, 4, 5 sont séparables, ces changements se font avec la plus grande facilité. Grâce à la mobilité des bobines, le long de la règle R, on peut changer à volonté la sensibilité

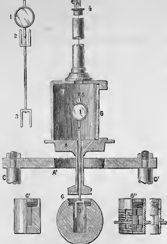


Fig. 6. — Équipage magnétique, miroir et barreau aimanté compensateur du galvanomètre universel apériodique.

de l'appareil et le transformer en galvanomètre différentiel, etc... Comme le précédent, cet appareil est absolument apériodique et va prendre sa position d'équilibre sans osciller; il a l'inconvénient de subir les influences extérieures.

N° 5. — *Téléphone employé comme galvanoscope.*

(Biologie, 2 mars 1878. — Académie des sciences, 1er avril 1878.)

La patte de la grenouille était considérée comme l'un des réactifs les plus sensibles aux courants électriques et employée constamment

comme galvanoscope. Par une expérience très simple, j'ai montré, en décembre 1877, que le téléphone est environ deux cents fois plus sensible que la patte galvanoscopique. Je proposai alors l'usage de cet instrument pour l'étude de l'électricité animale en général, et du tétanos électrique du muscle en particulier.

En disposant un interrupteur vibrant, j'ai pu déceler, par le téléphone, le passage d'un courant continu, et je montrai ainsi l'existence des courants électriques musculaire et nerveux, ainsi que la variation négative.

Mes expériences furent répétées par divers savants et, notamment, par M. de Tarchannoff, à Saint-Pétersbourg, avec un plein succès, en suivant mes indications. Ultérieurement, M. Marey fit usage de ma méthode pour l'étude de la décharge des poissons électriques et arriva facilement à prouver sa discontinuité. M. Robin employa également le téléphone *pour l'étude de l'organe électrique* rudimentaire de certains poissons.

N° 6. — *Cause des courants électriques dits : courants de repos.*

(Biologie, 13 juin 1885.)

J'ai montré, par nombre d'expériences, que ces courants sont corrélatifs du fonctionnement chimique du protoplasma. Dans les tissus et même à l'état de liberté, le protoplasma se comporte comme le zinc dans une pile électrique. L'intensité du courant est proportionnelle à l'intensité des phénomènes respiratoires. Elle diminue quand les tissus sont refroidis ou anesthésiés, augmente au contraire, par une chaleur modérée pour disparaître par l'ébullition. Grâce à mes aiguilles impolarisables, on peut suivre le phénomène dans les muscles d'un animal qu'on anesthésie.

Je vais même plus loin et j'admets volontiers que les courants électriques que nous pouvons ainsi *dériver* dans nos électrodes ne sont qu'une partie infime des courants qui se produisent. En réalité, dans l'intimité des tissus, ces courants peuvent être fermés sur eux-mêmes en court circuit, et dès lors, pour nous, ils ne sont plus perceptibles que sous forme de chaleur. Cette thèse que j'ai soutenue en 1882 sur l'origine de la chaleur animale est parfaitement plausible en s'appuyant sur les considérations suivantes.

N° 7. — *Électricité et chaleur animales.*

(Cours du Collège de France, 1882, et Biologie, 13 juin 1885.)

On admet généralement que la chaleur animale est le résultat *direct* et *primitif* des combustions organiques, on a cru même que le muscle transformait directement cette chaleur en travail mécanique, comme une véritable machine thermique. Pour bien des raisons, je crois cette doctrine fausse, et qu'au contraire, l'apparition de la chaleur est un phénomène de seconde main. La réaction chimique engendrerait d'abord un courant électrique et la chaleur ne serait que le résultat d'une seconde transformation. Le muscle serait bien plus un transformateur électrique de l'énergie chimique, qu'un transformateur thermique. La chose est évidente quand on considère ce muscle modifié qui s'appelle organe électrique chez la torpille, le gymnote et quelques poissons. Dans le muscle lui-même, au moment de la contraction; les manifestations précèdent l'apparition de la chaleur. C'est là, d'ailleurs, un mécanisme de production de la chaleur commun, d'après moi, à toutes les réactions chimiques, et que met en évidence l'action de l'eau acidulée sulfurique sur le zinc. Si on fait agir l'eau acidulée sur le zinc *ordinaire*, la réaction chimique semble dégager *immédiatement et directement* de la chaleur. Il n'en est rien pourtant, car l'attaque n'a lieu que parce que le zinc contenait des impuretés; il se forme une foule de petites piles locales, fermées sur elles-mêmes au sein du liquide, et dont les courants particulaires se transforment en chaleur, suivant la loi de Joule (chaleur $= RI^2$). La preuve, c'est qu'on peut faire apparaître cette chaleur *en dehors du vase*, en supprimant ces couples locaux par l'emploi du zinc pur qui n'est attaqué par l'acide qu'autant qu'on l'accouple à un métal moins oxydable que lui. L'apparition de la chaleur a donc été *précédée* par le dégagement électrique. Ce phénomène est absolument général, car, par des dispositions appropriées, on peut obtenir un courant électrique par n'importe quelle réaction chimique. Mais beaucoup de ces réactions se comportent à la façon du zinc impur, *on ne peut dériver le courant électrique qu'elles engendrent dans un circuit extérieur;* et alors la chaleur *semble* être le résultat *unique* et *primitif* de la réaction, alors qu'elle n'est qu'un phénomène secondaire corrélatif de la disparition d'électricité. La chaleur serait donc simplement un *résidu* de la contraction musculaire et non la *source* de cette contraction.

N° 8. — *Cause des courants d'action. Oscillation négative.*

(*Gazette des hôpitaux*, 21 mai 1878.
Biologie, 4 juillet 1885. Cours du Collège de France, 1882-1883.)

Les remarquables expériences de M. Lippmann ont établi une relation entre les phénomènes électriques et les actions capillaires.

Par les variations de la tension superficielle il a donné un nouveau

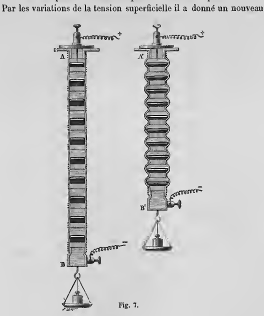


Fig. 7.

moyen de produire mécaniquement de l'électricité, et, réciproquement : d'obtenir des mouvements mécaniques au moyen de l'électricité.

On sait sur quel principe repose l'électromètre capillaire de M. Lippmann et son moteur électrique qui en est la réciproque.

Les conditions de l'expérience que M. Lippmann a faite avec l'eau et

le mercure sont constamment réalisées dans les tissus vivants. En 1878, j'ai démontré que le fait trouvé par M. Lippmann était applicable à tous les corps liquides ou semi-fluides d'origine organique, présentant une surface de séparation déformable mécaniquement.

J'ai donné à l'expérience de M. Lippmann une forme particulière qui constitue une sorte de Schéma de la fibre musculaire striée et de l'organe électrique de certains poissons.

Je prends un tube de caoutchouc AB (fig. 7), et je le sépare en une série de compartiments par des disques poreux en roseau ou en terre

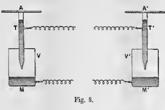


Fig. 8.

poreuse, au niveau desquels je le ficelle fortement. Chaque compartiment est rempli par une couche de mercure (en noir sur le dessin) surmontée d'une couche d'eau accidulée. Si maintenant je suspens ce tube par sa partie supérieure et que *je l'allonge brusquement*, en saisissant ses deux extrémités, *je reçois une secousse*. En suspendant en B un poids qu'on fait osciller de haut en bas et de bas en haut, de façon que le système prenne successivement les formes AB et A'B', on obtient des courants alternatifs. Enfin, si on attache l'extrémité B au centre d'un diaphragme, et qu'on mette A et B en rapport avec un téléphone (ou mieux un microphone), l'appareil reproduit la parole, c'est-à-dire qu'il transforme l'électricité en mouvement mécanique [1].

Les déformations mécaniques, quelque faibles et quelque rapides qu'elles soient, *modifient la tension électrique*. Réciproquement : *les variations de tension électrique, quelque faibles et quelque rapides* qu'elles soient, *s'accompagnent d'une déformation mécanique*.

1. Ces expériences ont été répétées, avec un plein succès, par M. Weiss, dans son cours à la Faculté de médecine. Cet auteur a donné un moyen simple de réaliser l'appareil représenté figure 7 (voir sa *Technique d'Electro-physiologie* dans la collection Léauté).

Le téléphone à mercure d'Antoine Bréguet le démontre surabondamment.

Cet instrument se compose (fig. 8) de deux vases V V' remplis de mercure et d'eau acidulée, dans lesquels plongent deux tubes T T' à bout effilé, contenant du mercure, et recouverts par deux plaques vibrantes. On réunit entre elles, par des fils métalliques, les colonnes de mercure T et T' et les couches de mercure M et M' qui occupent le fond des deux vases. En faisant vibrer la lame A, la lame A' reproduit la vibration. La vibration en A déforme la colonne T et engendre un courant vibratoire qui, à son tour, déforme la colonne T' électriquement et fait vibrer A'.

Ce téléphone transmet non seulement les vibrations musicales, mais encore la parole articulée, dont les vibrations sont infiniment complexes.

Les déformations subies dans ce cas par les colonnes de mercure T T' *sont absolument invisibles et d'ordre moléculaire*, comme les déformations que subit une muraille épaisse, à travers laquelle pourtant la voix peut se transmettre.

Ces prémisses physiques posées, l'explication des phénomènes physiologiques qu'il me reste à signaler devient facile à comprendre.

Oscillation négative dans le muscle strié. — On sait qu'à l'état normal, la fibre musculaire striée présente un courant électrique allant de sa partie médiane (équateur) à ses deux extrémités (tendons), à travers le galvanomètre. L'équateur est donc positif par rapport aux extrémités quand la fibre est à l'état de repos.

Au moment de la contraction musculaire provoquée par un irritant quelconque, ce courant tend à devenir nul, et l'aiguille du galvanomètre revient vers le zéro tout le temps que dure la contraction musculaire; c'est le phénomène de l'oscillation négative. Cette brusque variation du courant musculaire, au moment de la contraction, est même assez énergique pour faire contracter un muscle voisin dont le nerf repose sur le muscle excité. C'est la contraction induite ou secondaire de Matteucci. M. du Bois-Reymond a tenté de donner de ce phénomène une explication qui repose uniquement sur une bipolarité, absolument hypothétique, des molécules composant la fibre musculaire. J'ai essayé, depuis 1878, de donner de ce phénomène une théorie basée sur la variation de tension superficielle (et par conséquent d'état électrique)

qu'entraîne la déformation mécanique *interne* de tout tissu vivant qui se déforme spontanément.

Considérons un globule de mercure plongé dans l'eau acidulée et relié à une des bornes d'un galvanomètre par un fil isolé du liquide acidulé, l'autre borne communiquant à une masse de mercure située dans la même eau acidulée. Si nous venons à déformer mécaniquement le globule de mercure nous savons que cette déformation s'accompagnera de la production d'un courant (expérience de Lippmann). Si la surface du globule augmente il devient positif. Si elle diminue il devient négatif par rapport au liquide extérieur. Supposons maintenant que ce globule de mercure soit *spontanément* déformable et que, d'étalé qu'il était, il tende à devenir sphérique, c'est-à-dire que sa surface diminue; dans ce cas il deviendra négatif. *Un globule de protoplasma, nageant au sein d'un plasma liquide, réalise ces conditions;* s'il se contracte il doit devenir négatif. C'est en effet ce que l'expérience montre avec tous les tissus contractiles : *un point musculaire excité est négatif par rapport à la substance musculaire non excitée* (Hermann).

La fibre musculaire présente-t-elle une structure capable de donner lieu à ces phénomènes?

D'après les recherches modernes, on sait que la fibre striée (celle qui donne le mieux le phénomène de l'oscillation négative) est composée de deux substances différentes, en forme de disques, superposées alternativement. L'une de ces substances (disque clair) est isotrope ou monoréfringente; l'autre, au contraire (disque sombre), est anisotrope ou biréfringente.

J'attribue l'oscillation négative, lors de la contraction, à la déformation mécanique qui se produit au niveau de la surface de contact des disques clairs avec les disques sombres. C'est un phénomène analogue à celui qui se passe dans le tube de caoutchouc représenté (fig. 7).

Si l'oscillation négative est due, comme je le soutiens, à cette déformation *interne moléculaire* de la substance musculaire, on doit donc l'observer encore si on empêche le muscle de se déformer *en masse* lors de sa contraction, pourvu que le changement de forme puisse se produire au contact des disques clairs et des disques sombres.

L'expérience vérifie pleinement cette déduction. Si on emprisonne un muscle dans du plâtre, de façon à ce qu'il ne puisse pas se déformer,

l'oscillation négative apparaît quand même lors de sa contraction (du Bois-Reymond).

Si on tend un muscle par un poids trop fort pour qu'il puisse le soulever, *sa variation électrique est alors maxima* (Brown-Séquard, *Course of lectures on the Physiology and Pathology of the nervous Centres*, Philadelphie, 1860, p. 7, fig. 2, pl. 1).

Si on fixe une fibre musculaire, sous le microscope, par ses deux extrémités, de façon à ce qu'elle ne puisse se raccourcir lors de sa contraction, *le changement de forme des disques clairs et des disques sombres est alors à son maximum* (Ranvier).

L'explication des phénomènes observés dans ces trois expériences ressort très nettement de ma théorie.

Si ma théorie est vraie on doit, *en allongeant* mécaniquement un

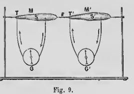


Fig. 9.

muscle, produire une *variation positive*, inverse de celle qui se produit lors de son raccourcissement actif. L'expérience confirme encore pleinement cette déduction. Voici de quelle façon je la réalise (fig. 9 [1]).

Je fixe à l'aide d'une pince la partie tendineuse d'un muscle M au repos; l'autre extrémité est reliée par un fil de soie F à l'extrémité tendineuse d'un second muscle M' fixé rigidement par l'autre bout; chacun de ces muscles est relié à un de nos galvanomètres ou à l'électromètre Lippmann G G'. Chacun de ces muscles possède son courant propre normal, les équateurs S et S' étant positifs par rapport aux tendons T et T'. Dans cette position j'excite le nerf d'un des muscles; il se contracte et allonge naturellement l'autre muscle. Aussitôt on voit le muscle *qui se contracte* éprouver la *variation négative*, le second, au contraire, *qui s'allonge* voit augmenter son courant *positif*. On peut répéter l'ex-

1. *Gazette des hôpitaux* et *Société de Biologie*, 21 mai 1878.

périence en sens inverse avec le même succès. Tout se passe comme avec le tube de caoutchouc de la figure 7.

L'hypothèse de M. du Bois-Reymond est impuissante à donner une explication de ce phénomène prévu par ma théorie. Si l'oscillation négative est le résultat du changement de tension superficielle qui accompagne la contraction : *La vitesse de propagation de l'onde négative doit être la même que celle de la propagation de l'onde musculaire.*

L'expérience confirme pleinement cette nouvelle déduction d'après les électro-physiologistes les plus autorisés. Cette lenteur de la propagation d'une manifestation électrique serait absolument incompatible avec la vitesse de propagation propre au courant électrique lui-même, si l'oscillation négative n'était pas la conséquence d'une déformation mécanique.

Enfin : *la variation de tension superficielle se produit dans le muscle bien avant que le muscle se raccourcisse en masse.* Le phénomène se voit très facilement en répétant l'expérience de Ranvier, citée plus haut, à l'aide d'une fibre musculaire épuisée ou près de mourir et dont on fixe faiblement une des extrémités. Si on envoie une excitation unique à cette fibre, le changement dans la striation se produit dans le champ du microscope au moment même de l'excitation, mais ce n'est qu'un instant après qu'on voit se mouvoir l'extrémité faiblement fixée de la fibre. En un mot la variation de tension superficielle semble, comme la variation négative, précéder la contraction en masse du muscle, et coïncider avec la période d'excitation latente.

Il ne faudrait pas croire que les déformations *moléculaires* des surfaces de conctact qui ont lieu dans les tissus s'accompagnent toujours d'un changement de forme *extérieur* et perceptible par un mouvement apparent de l'organe. Les choses se passent comme dans le téléphone à mercure d'Antoine Bréguet, décrit figure 8, et où il est impossible de constater un mouvement en masse produit par les vibrations très compliquées, dont la colonne de mercure est le siège. Contrairement à ce qui est admis, d'après les expériences myographiques, le muscle et le nerf sont capables de répondre aux excitations électriques les plus rapides et les plus compliquées qu'il nous soit possible de produire. J'ai mis ce fait hors de doute, en 1881, par une expérience très simple [1] à laquelle j'ai donné le nom de *muscle téléphonique.*

1. Voir *Lumière électrique* et *Société de Biologie*, 4 juillet 1885.

Cette expérience consiste (fig. 10) à prendre un muscle de grenouille munie de son nerf.

J'excite ce nerf par les courants ondulatoires provenant d'un téléphone (ou mieux, d'un microphone relié à une bobine d'induction) sur lequel on chante. Le tendon du muscle est attaché au centre d'une membrane sur laquelle il tire (téléphone à ficelle). On met l'oreille contre cette membrane (par l'intermédiaire d'un tube acoustique), et, si on chante à haute voix sur le microphone, *le muscle reproduit la voix avec autant de netteté qu'un téléphone.* Il se comporte, en un mot, et pour la même cause, comme le téléphone à mercure d'Antoine Bréguet.

D'après Helmholtz, le nombre de vibrations nécessaires à la reproduction du timbre de la voix dépasse cinq mille par seconde; le nerf et

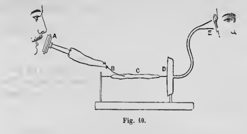


Fig. 10.

le muscle obéissent, néanmoins, fidèlement à ces excitations et les traduisent par des mouvements moléculaires *imperceptibles au myographe.* Cet instrument est donc bien infidèle, et le fusionnement qu'il accuse dans les secousses est plus apparent que réel.

D'après les expériences qui précèdent, je crois être fondé à dire qu'il faut tenir grand compte, en électro-physiologie, de la belle loi trouvée par M. Lippmann, et qu'on est en droit de formuler ainsi :

La tension superficielle à la surface du contact de deux corps déprimables est une fonction de leur différence de potentiel. Réciproquement : *Lorsqu'on déforme la surface de séparation par des moyens mécaniques, il se produit une variation de potentiel dont le sens s'oppose à la continuation du mouvement.* Ces conditions se trouvent, à chaque instant, réalisées dans l'organisme.

Quel que soit le sort réservé à l'explication que je propose, elle a au moins l'avantage de n'être pas une simple hypothèse, mais bien une théorie appuyée sur une loi physique incontestable. D'après ce que nous venons de voir, elle explique :

1° L'oscillation négative du muscle pouvant se raccourcir ;

2° L'oscillation négative maxima du muscle tendu;

3° L'oscillation positive du muscle allongé par traction;

4° Pourquoi l'onde négative du muscle se propage avec la même vitesse que l'onde musculaire ;

5° Pourquoi un point musculaire excité est négatif, par rapport à la substance musculaire encore au repos ;

6° Comment un phénomène électrique peut se propager le long d'un muscle, avec une vitesse aussi faible que celle de l'onde musculaire ;

7° Comment les variations de tension superficielle amènent les mouvements du protoplasma ;

8° Pourquoi l'électricité est l'excitant le plus énergique de la substance vivante.

9° Pourquoi le pôle négatif est plus excitant que le positif;

10° Pourquoi, enfin, on peut soutenir que le muscle n'est pas un moteur thermique. Ainsi s'explique son rendement mécanique élevé, la chaleur étant un *résidu* de la contraction musculaire, et non la *source* de cette contraction.

N° 9. — *Origine de l'électricité chez les poissons électriques. Schéma physique de l'organe électrique.*

(Conférence de l'Exposition d'Électricité, 1881. — *Lumière électrique*, 1884. *Les poissons électriques*, par Beauregard.)

L'oscillation négative provenant de la variation de la tension superficielle du protoplasma m'a fourni également l'explication de l'origine de l'électricité chez les poissons électriques.

Et d'abord l'électricité n'est pas préformée dans ces organes; on ne peut les assimiler ni à une pile ni à un condensateur, puisque, à l'état de repos, ils ne manifestent aucune tension électrique extérieure accusant une charge.

Ces organes produisent donc l'électricité seulement au moment où ils entrent en fonction sous l'influence de la volonté de l'animal. Ils se

comportent au point de vue de la production d'énergie électrique exactement comme le muscle le fait pour l'énergie mécanique.

Le système nerveux ne fait pas plus l'électricité dans l'organe électrique, qu'il ne fait la force mécanique dans le muscle, puisqu'on obtient des décharges après avoir séparé l'organe des centres nerveux, tout comme pour le muscle.

Si la *contractilité* est la propriété du muscle, l'*électricité* (qu'on me passe ce néologisme) est au même titre la propriété de l'organe électrique. J'ai démontré, en effet, qu'on obtient une décharge électrique en déformant *mécaniquement* un morceau d'organe sans nerf (rapport de l'École des hautes études, 1882-1883).

L'organe électrique est formé par une série de cellules hexagonales superposées. Chaque cellule est remplie, en partie, par une masse granuleuse, probablement de nature protoplasmique, dans laquelle se ramifie le nerf et par une substance amorphe, plus ou moins fluide, surmontant la plaque nerveuse, comme l'ont montré les belles études de Ranvier. Nous avons dans cet arrangement toutes les conditions désirables pour produire de l'électricité à haute tension par le phénomène Lippmann.

Considérons une cellule : sa base protoplasmique, excitée par le nerf, s'électrise *négativement* (oscillation négative due à la variation de tension superficielle du protoplasma), la substance non protoplasmique qui est au-dessus *positivement*. La superposition des cellules accouple ces éléments électromoteurs en tension.

Les variations négatives s'additionnent et sont multipliées par le nombre des cellules superposées qui s'élève à plusieurs milliers dans une colonne de l'organe. Toutes ces variations négatives individuelles s'additionnent pour donner à chaque extrémité de colonne terminale une variation négative formidable. Voilà pour la tension.

Ces colonnes sont elles-mêmes au nombre de plusieurs milliers, associées par les pôles du même nom, voilà pour la quantité.

Ces organes peuvent donc donner à la fois la tension et la quantité, voilà pourquoi leur décharge est si formidable.

Cette théorie explique comment il se fait que l'organe électrique se comporte en tout comme un muscle, ainsi que l'ont démontré encore tout récemment les belles expériences de Marey. Les lois de la décharge électrique sont les mêmes que celles de la secousse musculaire. La décharge

de cet organe et la variation négative du muscle se produisent par le même mécanisme.

L'appareil représenté figure 7 donne un schéma du prisme de l'organe électrique. Les déformations du protoplasma peuvent rester absolument insensibles sans que le phénomène change comme dans l'appareil figure 8.

D'autre part, j'ai démontré (Biologie, 4 juillet 1885 et rapport des hautes études, 1882-1883) que si on prend un morceau d'organe électrique et qu'on mette, par un plateau conducteur, chaque face en communication avec un galvanomètre, on obtient une décharge *inverse* en *comprimant* l'organe, et *directe* en le *déprimant*.

C'est la répétition de mon expérience faite avec le muscle et avec le tube de caoutchouc. Ce résultat est inexplicable en assimilant l'organe électrique à une pile ou à un condensateur; il est tout simple, au contraire, dans ma théorie qui subordonne l'électrogenèse aux changements de la tension superficielle.

N° 10. — *Sur un phénomène physique analogue à la conductibilité nerveuse*

(Biologie, 3 avril 1886.)

Dans cette expérience, toujours basée sur le phénomène Lippmann, je montre qu'une onde électrique, dans certaines circonstances, semble se propager aussi lentement que l'onde nerveuse. Par ce dispositif on reproduit artificiellement tous les phénomènes de l'oscillation négative du nerf, que je fais ainsi rentrer dans la même théorie que l'oscillation négative du muscle.

N° 11. — *Production d'électricité chez l'homme*

(Biologie, 14 janvier et 11 février 1888.)

M. Féré ayant amené à mon laboratoire une névropathe présentant de remarquables phénomènes d'électrisation spontanée, des mesures faites à l'électromètre Mascart me montrèrent :

1° Que la charge statique dépassait 1,000 volts;

2° Que le potentiel de cette charge était très différent pour chaque côté du corps;

3° Que certaines excitations sensorielles (couleurs, odeurs) modifiaient instantanément ce potentiel.

La réalité du phénomène étant établie, restait à en donner l'explication. J'ai montré :

1° Que l'électricité constatée chez cette personne est d'origine extérieure au sujet et nullement de cause organique, comme M. Féré était disposé à l'admettre;

2° Que la source d'électricité réside entièrement dans la sécheresse plus grande de la peau et le frottement des vêtements. (Cette sécheresse inégale des deux côtés du corps a été constatée par l'application d'un hygromètre spécial);

3° Que les variations du potentiel, sous l'influence des excitations sensorielles, ne tient nullement non plus à une production d'électricité par le sujet, mais uniquement à une modification de la sécrétion cutanée qui entraîne un changement dans la répartition de cette charge;

4° Que les différences de potentiel qu'on peut constater normalement sur la peau humaine, ne dépassent pas, et même n'atteignent jamais 1 volt, quand on prend les précautions physiques nécessaires pour éviter toutes causes d'électrisation extérieure au sujet;

5° Enfin, que pour produire *organiquement* de l'électricité à haut potentiel, il faut un organe spécial comme celui dont on constate l'existence chez les poissons électriques.

On voit, par les considérations qui précèdent, que la belle loi découverte par M. Lippmann, permet de rapporter à une même cause des phénomènes qui, comme l'oscillation négative, la décharge des poissons électriques et la contraction du protoplasma, semblaient n'avoir aucun lien. La théorie que je propose n'a pas la prétention d'être inattaquable, mais elle a le mérite de reposer sur des faits et non sur des hypothèses comme les théories qui nous venaient d'outre-Rhin (*théories de du Bois-Reymond*).

SECTION II

ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ SUR LES ÊTRES VIVANTS. APPLICATIONS THÉRAPEUTIQUES.

N° 12. — *Ondes électriques. Caractéristiques d'excitation.*

(Biologie, 1er avril 1882.)

Cette étude a une importance pratique très grande, puisqu'elle doit servir de base à une branche de la thérapeutique dont l'utilité s'affirme chaque jour davantage, je veux parler de l'*Électro-thérapie*.

— L'électricité est, par excellence, l'excitant des tissus vivants. Si nous considérons une excitation *unique*, appliquée au nerf moteur ou au muscle, le résultat sera très différent suivant la source électrique employée. Une pile donnera des effets tout différents de ceux qu'on obtiendra de l'étincelle d'une bouteille de Leyde, ou du courant induit d'une bobine. La même bobine donnera des effets variables suivant la grosseur du fil; et une machine magnéto des effets autres que la bobine d'induction, etc.

Impossible de faire des mesures dans ces conditions et de pouvoir rapporter à une même unité des excitations provenant de sources électriques si différentes. La question se trouvait dans cet état d'indéterminisme lorsque j'en ai abordé l'étude en 1881. Par une série d'expériences poursuivies systématiquement, j'ai montré que les effets de ces diverses sources électriques pouvaient être prévus, mesurés et rapportés à une unité commune par la connaissance de l'*onde électrique* émanant de chacune de ces sources. C'est cette onde électrique que j'ai appelée la *Caractéristique de l'excitation.* Quand cette courbe est la même, les

résultats physiologiques sont les mêmes, quelle que soit la source électrique d'où elle émane.

Cette idée de la *forme de l'onde électrique* est aujourd'hui devenue classique dans toutes les applications de l'électricité à la médecine, grâce à mes publications successives.

Voici comment je suis arrivé à cette notion.

Au point de vue physiologique où nous nous plaçons ici, on peut établir une division fondamentale des effets de l'électricité suivant qu'on emploie *l'état variable* ou *l'état permanent* du courant.

Cette distinction, admise par tous les physiologistes, s'impose également en Électrothérapie et se justifie par l'examen même le plus superficiel. L'état variable, sur un être vivant, se traduit par une excitation très violente des nerfs et des muscles qui entrent en contraction, tandis que rien d'analogue ne se manifeste dans l'état permanent si l'on emploie un courant de force modérée.

Une expérience très élégante de Claude Bernard met bien ce fait en lumière. On place dans le circuit d'une pile une roue interruptrice de Masson, un voltamètre et une grenouille préparée à la Galvani. En laissant la roue immobile on fait passer le courant de la pile à travers les trois appareils à la fois; le voltamètre dégage des gaz, la patte de grenouille reste immobile. On a les effets du courant permanent. Si l'on vient à mettre la roue de Masson en mouvement, le dégagement gazeux cesse presque complètement dans le voltamètre tandis que la patte de grenouille entre en contraction violente. Le courant qui la traverse est pourtant plus faible que dans le premier cas, mais on a les effets physiologiques dus à l'état variable. Cette simple expérience montre que les effets physiologiques du courant (action sur la sensibilité et la motricité) ne sont nullement sous la dépendance de son intensité absolue.

Si, au contraire, le courant est très fort, on peut avoir des manifestations extérieures durant l'état permanent, mais ces manifestations tiennent uniquement dans ce cas à l'électrolyse interstitielle des tissus et à la décomposition qui a lieu *dans toute leur masse*, ainsi que l'ont bien mis en évidence les expériences récentes de M. Weiss. On peut dire que, dans ces conditions, ce n'est pas l'électricité qui agit, mais bien les produits chimiques libérés par le passage du courant, dans l'intimité même des tissus. On a affaire à un simple excitant chimique engendré

par l'électricité sur son passage et dépendant uniquement de l'intensité du courant, conformément aux lois de Faraday.

C'est sur cette action particulière que Ciniselli et surtout le Dr A. Tripier ont fondé une branche importante de l'Électrothérapie; je veux parler de l'électrolyse ou cautérisation et destruction potentielle des tissus vivants par le courant continu.

Pour doser les effets du courant permanent sur les êtres vivants, nous avons un moyen simple. Puisque son action dépend uniquement de l'intensité, il suffira donc de mesurer cette dernière avec un galvanomètre. Quant à ses effets locaux, aux points d'entrée et de sortie, ils dépendent également de l'intensité par unité de surface, c'est-à-dire de la *densité*. D'après cela, les divers expérimentateurs se mettront dans des conditions physiquement définies en employant des galvanomètres gradués en unités absolues; leur adoption est devenue générale depuis le Congrès de 1881 sur la proposition que j'en ai faite avec M. Marey à la Commission internationale d'Électrophysiologie[1]. Les observations médicales y ont gagné en précision et en unité.

Si nous savons à quelles conditions physiques rapporter les effets physiologiques de l'état permanent, si nous pouvons surtout aisément les mesurer, il n'en est pas de même pour l'état variable. Par quel facteur devrons-nous définir la puissance physiologique d'une excitation électrique? Cette importante question a été agitée en 1881 au Congrès d'électrophysiologie, mais ne put donner lieu alors qu'à un échange de vues plus ou moins hypothétiques : la base expérimentale manquait. C'est depuis cette époque que j'entrepris une série d'expériences systématiques sur ce sujet qui intéresse non seulement la physiologie, mais qui doit servir de base à l'électrothérapie.

Au *point de vue physiologique*, une excitation électrique produite par l'état variable ne peut être définie par les données servant de mesure à l'état permanent. Pour en faire une analyse complète, il faut connaître *tous* les éléments à *chaque instant de la variation*. Cela revient à dire qu'il faut avoir la courbe complète de la variation, c'est-à-dire la *forme physique de l'onde électrique* d'excitation. C'est cette courbe particulière à chaque excitation électrique que j'ai appelée : *la caractéristique de l'excitation*. Mais, pour tracer cette courbe en fonction du temps, quelle

1. Voir d'Arsonval, Compte rendu de la Commission d'électrophysiologie, *Revue scientifique*, et Rapport de M. du Bois-Reymond, même recueil, 1881.

variable devrons-nous prendre? *A priori*, ce ne peut être l'intensité, en vertu même de l'expérience de Claude Bernard relatée plus haut. Il est facile, d'autre part, de montrer que c'est la variation du potentiel *au point excité* qui est le facteur important dans l'excitation du système nerveux. Prenons un nerf moteur relié à une masse musculaire dont nous pourrons enregistrer les mouvements à l'aide du myographe. Excitons ce nerf *en un point quelconque de sa longueur* au moyen du pôle *négatif* d'une pile thermo-électrique dont le pôle *positif* sera relié à la masse musculaire (excitation unipolaire de Chauveau). La contraction du muscle restera sensiblement la même *quel que soit le point du nerf que l'on excite*. A cause de l'énorme résistance du nerf (10 à 25,000 ohms pour le nerf sciatique de la grenouille) comparée à celle de la pile qui est négligeable, le potentiel aux points excités successivement sera resté constant, mais l'intensité du courant traversant le nerf, à chaque contact, aura varié dans d'énormes proportions. On peut faire l'expérience inverse, c'est-à-dire exciter le nerf à *intensité constante* en faisant varier la force électromotrice de la pile proportionnellement à la longueur du nerf intercalé. Dans ce cas, l'énergie de la contraction musculaire augmente avec le potentiel au lieu de rester constante comme l'intensité. Ces deux expériences qui se complètent et se contrôlent mutuellement montrent d'une manière très nette que, pour tracer la caractéristique d'excitation, il faut prendre $e = f(t)$ et non pas $i = f(t)$.

Au début de mes expériences (octobre 1881), je cherchai à tracer l'onde électrique provenant des électromoteurs généralement employés en physiologie. Je rencontrai des difficultés insurmontables et je renonçai très vite à procéder par *analyse* pour opérer au contraire par *synthèse*.

Pour réaliser la synthèse d'une onde électrique de forme quelconque, j'imaginai la méthode suivante [1] qui me donna pleine satisfaction; le schéma ci-joint est destiné à faciliter l'intelligence de la description, mais il ne doit être considéré que comme un simple dessin schématique donnant le principe de la méthode (fig. 11). Soit P une source constante d'électricité (accumulateurs) dont le circuit est fermé au travers d'une colonne liquide de sulfate de cuivre en solution saturée contenue dans un tube de verre. Le courant entre par le bas et ressort par le haut au moyen de contacts en cuivre rouge. L'autre pôle est mis à la terre et se

1. Voir *Comptes rendus de la Société de Biologie*, 1er avril 1882.

trouve au potentiel zéro. La partie supérieure de la colonne liquide est, au contraire, à un potentiel négatif de 2, 3 ou 10 volts à volonté. Le potentiel décroît régulièrement le long du tube d'après une loi bien connue. Supposons qu'un fil métallique P' en cuivre, isolé jusqu'à sa pointe inférieure, puisse monter et descendre le long de la colonne. Si nous supposons la pointe au fond du tube, le potentiel est zéro; mais, en relevant le fil, son potentiel va croître régulièrement. Attachons rigidement ce fil à l'extrémité d'un levier mobile autour du point L, l'autre

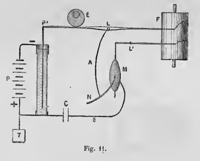


Fig. 11.

extrémité se déplaçant le long d'un cylindre enfumé F. Il est facile de voir que les déplacements de la pointe du levier L sur le cylindre F inscriront les phases et les grandeurs de la variation du potentiel du fil plongeur P'. Pour avoir une courbe déterminée d'avance, je fais osciller le levier L par la rotation d'un excentrique E, dont on taille le profil en conséquence. En pratique, j'attache le fil P' soit à une tige vibrante, soit à une pendule qui donne une variation sinusoïdale du potentiel. J'obtiens toute autre forme et toute vitesse en attachant ce fil à un ressort plus ou moins tendu (fil de caoutchouc) que je déclanche mécaniquement pour produire l'excitation. Si le fil A' était mis simplement en rapport avec le nerf N communiquant à la terre, cet organe serait parcouru par un courant continu qui en modifierait l'excitabilité. J'évite cet inconvénient en faisant passer le courant dans le primaire d'une bobine d'induction ou bien en intercalant un condensateur étalonné en C. Le muscle M, excité par le nerf N, est attaché au levier myographique L', qui

trace la courbe de la contraction musculaire au-dessous de la caractéristique d'excitation, tracée par le levier L. Dans la méthode unipolaire, le pôle négatif de la pile correspond au plongeur et le pôle positif est à la masse musculaire, à la façon habituelle. De cette manière, le levier L enregistre exactement les variations du potentiel au point excité et le nerf ne peut se polariser.

Ces expériences m'ont amené à formuler la loi suivante : *L'intensité de la réaction motrice ou sensitive est proportionnelle à la variation du potentiel au point excité*[1].

La conséquence pratique de toutes ces expériences, dont je ne peux indiquer ici que la conclusion générale, est que pour définir l'action

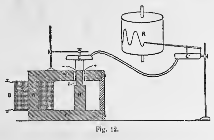


Fig. 12.

physiologique et thérapeutique d'un appareil électro-médical quelconque, à courant interrompu, il faut connaître, en fonction du temps, la loi de variation de la force électromotrice *aux points d'application des électrodes* sur le sujet. Voici un appareil que j'ai imaginé dans ce but.

Il permet de tracer automatiquement cette courbe en employant comme source d'électricité un appareil médical magnéto-faradique quelconque à faible fréquence. Il est fondé sur le même principe que le galvanomètre à circuit mobile que j'ai fait connaître en 1881, avec M. Marcel Deprez. Il se compose d'un puissant aimant (ou électro-aimant) TT'NN' créant un champ magnétique annulaire comme dans mon téléphone.

1. Voir d'Arsonval, *Société de biologie*, 1er avril 1882 ; — *Société de physique*, 1885 et 1891 ; — *Lumière électrique*, 1887 ; — *Archives de physiologie*, 1889 ; — *Academie des sciences*, 1894 ; — *Société française d'électrothérapie*, 1891.

Dans ce champ peut osciller une légère bobine *b* parcourue par l'onde électrique dont on veut inscrire la forme. En vertu d'une action bien connue, cette bobine se déplacera dans le champ et son déplacement mesurera à chaque instant les variations du courant qui la traverse. Pour inscrire à distance ce déplacement et l'amplifier en même temps, la bobine est suspendue à la membrane de caoutchouc d'un tambour de Marey *c*. Ce premier tambour est relié à un second tambour amplificateur plus petit *c'* portant un levier inscripteur se déplaçant sur un cylindre enfumé R, mû par un mouvement d'horlogerie.

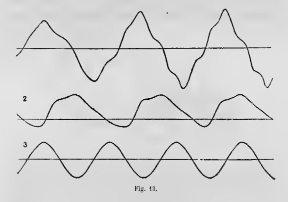


Fig. 13.

L'instrument constitue un galvanomètre très sensible inscrivant à distance par le mécanisme bien connu des tambours à air de Marey employés en physiologie. On obtient ainsi automatiquement la courbe de l'onde électrique émanant de l'électromoteur employé et l'on peut comparer facilement entre elles les différentes machines. Voici, à titre d'exemple, trois courbes provenant de trois appareils différents (fig. 13). La première provient d'une petite machine magnéto, genre Clarke (modèle médical de Gaiffe), à courants non redressés. On voit que la variation n'est pas uniforme. La seconde provient d'une machine analogue, mais à courants redressés (on voit qu'ils le sont incomplètement). Enfin, la troisième courbe (qui est très régulière) provient d'une petite

machine médicale que j'ai imaginée pour avoir un courant dont la variation soit sinusoïdale. C'est une machine, genre Pixii, modifiée de la façon suivante (fig. 14). Un aimant circulaire NS se meut devant un électro-aimant fixe E, autour d'un axe AA' commandé par la roue dentée R et la manivelle M. On recueille ainsi aux fils marqués + et — le courant représenté par la courbe 3 de la figure 13. Ce courant, à variations régulières, jouit de propriétés précieuses, comme je le dirai tout à l'heure. Il a l'avantage de ne donner aucun choc brusque, d'amener graduellement le tétanos du muscle (suivant la rapidité de la rotation) sans douleur, et son passage ne s'accompagne d'aucun phénomène d'électrolyse. Dans cette forme de courant alternatif, tout est connu;

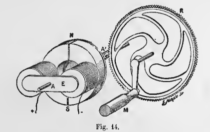


Fig. 14.

on peut opérer toujours dans les mêmes conditions, contrairement à ce qui a lieu avec les appareils d'induction à trembleur, dont les effets varient non seulement de l'un à l'autre, mais aussi pour le même appareil suivant les caprices de l'interrupteur et de la pile qui le met en vibration.

N° 13. — *Voltaïsation sinusoïdale.*

Au point de vue de la pratique médicale, j'ai été conduit à étudier tout spécialement les excitations électriques produites par les courants alternatifs à variation sinusoïdale.

Dans ce cas, l'onde électrique qui constitue la *caractéristique d'excitation* est définie par deux facteurs: 1° la fréquence (ligne AB de la fig. 15), et 2° l'ordonnée maxima (ligne EP) qui représente pour nous le facteur

physiologique le plus important, c'est-à-dire la variation maxima du potentiel. Une *période* complète est caractérisée par la double courbe comprise entre A et C. On voit que le courant varie régulièrement. Il part de zéro pour atteindre un maximum *positif* en E' revient graduellement à zéro en B pour croître dans le sens *négatif* jusqu'en E', et revenir à zéro en C, et ainsi de suite. Les quantités d'électricité traversant les tissus étant égales et de signe contraire, aucun phénomène ni d'électrolyse ni de polarisation n'est possible. Les effet *secondaires* dus au passage du courant se trouvent éliminés et il reste seulement l'action propre

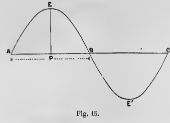


Fig. 15.

à l'électricité elle-même. On voit que la *fréquence*, c'est-à-dire le nombre d'excitations par seconde (ligne A B), est le double du nombre de *périodes* (ligne AC), pendant le même temps.

Dans la pratique médicale, il est essentiel de pouvoir faire varier d'une manière indépendante la valeur des facteurs AB et EP et il est non moins essentiel d'avoir, à chaque instant, la valeur de ces variations.

Le schéma ci-dessous (fig. 16) montre la machine que j'ai fait construire à Gaiffe pour résoudre ce problème d'une manière pratique.

Soit CC' un anneau Gramme portant d'un côté de l'axe le collecteur ordinaire avec ses balais B,B' et de l'autre côté deux bagues métalliques isolées, communiquant respectivement avec chaque moitié de l'anneau par deux prises de courant situées sur l'induit à 180 degrés. L'anneau tourne dans un champ magnétique créé par un courant indépendant traversant l'inducteur I par les fils marqués + et —. Si l'on met l'anneau en mouvement par une force mécanique extérieure, on recueillera aux

balais B,B' un courant continu et aux frotteurs K,K' un courant alternatif à variations sinusoïdales.

En plaçant sur l'axe de la machine un indicateur de vitesse, on connaît à chaque instant la fréquence du courant. Quant à la force électromotrice maxima, elle est donnée tout aussi simplement et d'une manière

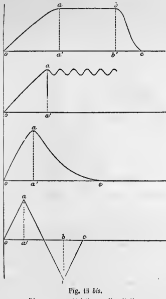


Fig. 15 *bis*.
Diverses caractéristiques d'excitation.

continue par un voltmètre ordinaire à courant continu relié aux deux balais B,B'.

On fait varier la fréquence en changeant la vitesse de rotation, et la force électromotrice en modifiant le champ magnétique créé par l'électro-aimant. Le voltmètre donne aussitôt la valeur de l'ordonnée maxima et l'indicateur de vitesse, la fréquence. L'indicateur de vitesse est basé

sur le régulateur décrit figure 23. Les deux éléments de la sinusoïde sont donc connus à chaque instant et l'opérateur leur donne la valeur qu'il désire. Je ferai remarquer qu'en amenant un courant continu, provenant d'une pile, par exemple, aux balais B,B', on recueillera en KK' un courant sinusoïdal. En mettant BB' en communication avec un réseau à 110 volts continus, et en intercalant un rhéostat convenable, on recueillera en KK' des courants sinusoïdaux dont le voltage pourra varier de 110 à 20 volts, par exemple, et avoir ainsi une installation très simple.

Si au lieu de partager l'anneau en deux parties égales CC' on le par-

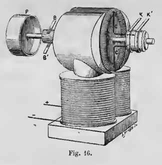


Fig. 16.

tage en trois, ou plus généralement en N parties égales, aboutissant à autant de frotteurs, on aura des courants *polyphasés*. Ces courants polyphasés sont des courants sinusoïdaux simples qui se succèdent régulièrement durant le cours d'une révolution de l'anneau de manière à être en retard les uns sur les autres, on dit qu'ils sont *décalés* d'une angle qui varie précisément suivant le nombre de prises C C'. Pour appliquer ces courants à l'organisme il faut autant de tampons qu'il y a de bagues KK'. Trois tampons par exemple dans le cas de courants *triphasés*. Les courants *triphasés*, que j'ai spécialement étudiés l'automne dernier, donnent des résultats de massage très curieux sur l'organisme. Ils permettent également de trouver très simplement comment les courants se répartissent dans l'organisme, ainsi que je l'ai montré dans une communication orale faite l'année dernière à la Société de biologie. La machine

décrite plus haut permet d'obtenir ce genre de courants et de les doser tout aussi simplement que le courant sinusoïdal simple.

La voltaïsation sinusoïdale est pratiquée aujourd'hui par nombre d'électrothérapeutes pour les cas les plus variés. M. le Dr Apostoli poursuit des recherches plus spécialement au point de vue des applications gynécologiques. Il a obtenu des résultats intéressants qu'il a signalés l'an dernier au congrès de Bruxelles dans un travail dont je reproduis ci-dessous les conclusions :

« Le courant alternatif sinusoïdal que M. d'Arsonval a introduit dans l'électrothérapie est utilisable en gynécologie, et voici les résultats généraux et sommaires de cette nouvelle acquisition :

En cinq mois, de mars à août 1892, 34 malades de la chinique du Dr Apostoli, comprenant 12 fibromes et 22 affections des annexes, ont été traitées par le courant alternatif. Elles ont été soignées avec le concours et l'assistance des Drs Grand et Lamarque, et au total 320 séances ont été faites.

Toutes ces malades ont été soumises à une application uniforme, un pôle dans l'utérus sous la forme d'hystéromètre, et l'autre sur le ventre par une large plaque de terre glaise. La durée de chaque séance était de cinq minutes; elles ont été renouvelées de deux à trois fois par semaine.

La vitesse seule des alternances a varié suivant les circonstances, ou mieux la sensibilité des malades, pour osciller entre une moyenne de 4 à 6,000, et un maximum de 11 à 12,000 par minute.

L'appareil qu'on a utilisé est le premier modèle construit par Gaiffe qui n'est autre qu'une machine magnéto-faradique de Clark, modifiée et transformée par d'Arsonval, donnant à grande vitesse une différence maxima de potentiel de 64 volts et à vitesse moyenne, une différence de 32 volts. Cet appareil est actionné par la pédale d'une machine à coudre.

Toutes les 34 malades ont été scrupuleusement observées, et voici les conclusions générales que l'on peut dégager de cette période initiale de traitement, conclusions qui toutefois ne paraissent pas encore définitives, au Dr Apostoli, en raison de l'outillage imparfait et de la durée relativement restreinte de l'expérimentation :

1° Le courant alternatif *sinusoïdal* appliqué dans la cavité intra-utérine, et dans les conditions opératoires où le Dr Apostoli s'est placé, est toujours inoffensif et bien supporté;

2° Son application n'est suivie d'aucune réaction douloureuse, ou fébrile, et s'accompagne le plus souvent au contraire d'une sédation manifeste;

3° Il ne paraît pas avoir d'action marquée sur le symptôme *hémorragie* et aurait plutôt une tendance à provoquer quelquefois sa continuité;

4° Il exerce une action très nette sur le symptôme *douleur;* cette action s'affirme dès les premières séances, et le plus souvent immédiatement dès la fin de la séance;

5° Il combat très avantageusement, mais non constamment toutefois, la *leucorrhée* qui, le plus souvent, diminue ou disparaît;

6° Il n'a pas d'action appréciable sur l'*hydrorrhée* liée à certains fibromes;

7° Son influence sur la régression anatomique des fibromes n'est pas encore nettement établie;

8° Il active et favorise la résolution des *exsudats péri-utérins*.

En résumé, ce traitement, tout récent qu'il soit, et tout incomplet qu'il paraisse encore, a toutefois donné une réponse assez nette pour qu'il soit permis de le considérer comme une heureuse conquête de la thérapeutique gynécologique. Des recherches complémentaires permettront de préciser et de fixer dans un avenir prochain les conditions opératoires les meilleures pour combattre des états pathologiques différents (hypertrophiques, infectieux, ou phlegmasiques), et il y aura lieu de faire varier dans tel ou tel cas le *nombre*, *la durée*, *le rapprochement des séances*, et d'étudier les différences curatives qui résulteront des variations qu'on pourra imprimer au *voltage* et à l'*intensité* du courant, ainsi qu'à la rapidité des alternances.

Les résultats acquis prouvent que le courant alternatif sinusoïdal doit prendre sa place en gynécologie à côté, *mais non encore au-dessus*, du courant faradique et galvanique.

Il est destiné à leur servir, soit d'auxiliaire actif en les complétant, soit à les suppléer et à remplir des indications personnelles et nouvelles que l'avenir établira avec plus de netteté.

C'est jusqu'à présent le médicament par excellence de la *douleur*, et, comme tel, s'il ne saurait faire table rase des applications faradiques et galvaniques qui ont fait leur preuve, c'est toutefois une arme de plus, et la *gynécologie conservatrice* ne peut qu'accepter tout ce qui tend à élargir et à fortifier son domaine. »

Je signalerai également une thèse pour le doctorat en médecine que vient de passer récemment à la Faculté de médecine de Paris Mme Kaplan-Lapina, où le même sujet est traité avec détails et où l'auteur arrive aux mêmes conclusions. Quant à l'action spéciale sur les échanges nutritifs, MM. Gautier et Larat ont donné des observations cliniques qui confirment mes expériences sur les animaux. Ce sujet a d'ailleurs besoin, en ce qui concerne l'homme malade, d'être traité avec toute l'exactitude que comporte le nouveau procédé de dosage que je viens de signaler L'observation clinique doit être tout aussi rigoureuse si l'on veut savoir exactement ce que l'on est en droit d'attendre de cette modalité particulière de l'énergie électrique dans les maladies par viciation de la nutrition. C'est un point sur lequel nous ne tarderons pas à être fixés, M. le professeur Bouchard ayant bien voulu s'associer à moi pour élucider cette question.

N° 14. — *La mort par l'électricité.*

Je suis amené tout naturellement à présent à parler des dangers présentés par les courants alternatifs industriels, du mécanisme physiologique par lequel ils entraînent la mort et des moyens de remédier aux accidents qu'ils provoquent[1]. J'ai essayé comparativement un alternateur Gramme et un alternateur Siemens. Un transformateur pouvait porter le potentiel jusqu'à 2,500 volts. A voltage égal, ce dernier est plus dangereux. Cette différence est facile à expliquer, d'après ce que nous avons vu plus haut. L'onde électrique de l'alternateur Siemens, dont l'induit ne contient pas de fer, est, en effet, beaucoup plus brusque, plus brutale, pourrait-on dire, que celle de l'alternateur Gramme. De là, ses effets physiologiques plus accentués pendant la fermeture du courant. Il en est tout autrement à la rupture. Si l'on abandonne l'animal à lui-même après ce choc électrique, l'arrêt de la respiration persiste généralement et la mort est définitive. Cette mort pourtant n'est qu'*apparente*, car, si l'on pratique immédiatement la respiration artificielle à l'aide d'un soufflet et d'une canule introduite dans la trachée, l'animal revient à la vie au bout d'un temps variable, en présentant parfois des paralysies partielles qui disparaissent spontanément. Si l'on pratique la respiration

1. *Société de biologie* et *Académie des sciences*, 4 avril 1887.

artificielle au moment même où l'on applique le courant, l'animal manifeste de la douleur, mais sans perte de connaissance : on ne peut le tuer alors par ce même courant, qui amenait précédemment la mort. Il y a pourtant une limite qui est atteinte lorsque le passage du courant en produisant le tétanos de tous les muscles du corps, a amené un échauffement portant la température centrale au-dessus de 45 degrés. L'animal meurt alors parce que la chaleur coagule les fibres musculaires du cœur, comme l'a montré Claude Bernard. La preuve en est qu'on peut continuer l'électrisation à la condition de refroidir artificiellement l'animal.

L'échauffement considérable du corps dans l'électrisation n'est nullement due, comme on le croit, à la résistance du corps s'échauffant comme un conducteur conformément à la loi de Joule. Dans la dernière électrocution faite en Amérique, par exemple, la température du supplicié a été trouvée de beaucoup au-dessus de la normale après la mort. On avait fait passer un courant de 3 ampères pendant cinquante secondes sous 1,500 volts, soit 4,500 watts ou environ 1 calorie par seconde. L'échauffement de ce fait n'eût pas donné plus de 50 calories à 60 calories pendant les cinquante secondes, ce qui, pour un homme du poids moyen de 75 kilogrammes, n'eût pas élevé sa température propre de 1 degré centigrade. La chaleur excessive amenée par l'électrisation est donc due uniquement à la contraction violente de tous les muscles. Cette chaleur excessive amène rapidement la coagulation de la fibre musculaire et la rigidité cadavérique par un phénomène semblable à celui qu'on observe chez les animaux forcés à la course ou fourbus, phénomène bien connu des chasseurs. La mort par le courant alternatif est donc due, d'une part, à l'arrêt de la respiration et, d'autre part, à l'élévation de température due à la contraction violente et généralisée du système musculaire. Je ne saurais trop insister sur ce fait expérimental que les courants alternatifs industriels peuvent n'amener le plus souvent qu'une mort *apparente*, le retour à la vie étant généralement possible si la respiration artificielle est pratiquée *immédiatement*. *Un foudroyé doit donc être traité exactement comme un noyé.* Quand le choc électrique a été de courte durée (ce qui est généralement le cas), c'est l'arrêt de la respiration qui amène la mort par syncope : les contractions musculaires ont été alors de trop courte durée pour amener la coagulation des muscles par l'échauffement.

Partant de ces expériences, je me suis élevé contre l'électrocution

qui est un moyen d'exécution que j'ai qualifié de barbare et d'infidèle. J'ai mis au défi les électrocuteurs américains d'oser pratiquer la respiration artificielle. Mon défi n'a eu d'autre résultat que de faire pratiquer l'autopsie du supplicié immédiatement après l'exécution, prudente précrution. — Un fait récent vient de démontrer combien j'avais raison. Un homme a établi un court circuit à travers son corps sur un courant alternatif de 4,500 volts (trois fois la tension employée par les électroculteurs américains). Il a reçu le courant pendant au moins deux minutes. Il a été foudroyé. Ce n'est que quarante minutes après l'accident qu'on a pu pratiquer sur lui la respiration artificielle. Il est revenu à la vie et est sauvé aujourd'hui.

Cet exemple est typique pour montrer à quel degré l'électrocution est barbare et infidèle, comme je l'ai soutenu. Il montre également qu'un courant alternatif ne tue pas fatalement. Il en serait tout autrement avec le courant continu qui, *à durée et à voltage égaux*, eut amené, par électrolyse, des lésions irréparables.

N° 15. — *Les hautes fréquences.*

J'ai fait connaître, plus haut, l'action physiologique des courants alternatifs de forme sinusoïdale à basse fréquence. J'ai montré également, dans le cas d'une excitation unique, l'influence capitale de la forme de l'onde électrique que j'ai appelée *Caractéristique de l'excitation.* J'ai poursuivi ces recherches systématiques sur les effets de l'électricité, en me demandant ce que deviennent les phénomènes d'excitation neuro-musculaire lorsqu'on augmente indéfiniment le nombre des oscillations électriques dans l'unité de temps. Le présent travail a pour but de résumer les phénomènes que j'ai pu jusqu'ici constater en excitant les tissus par des courants à fréquence graduellement croissante. Nous avons vu qu'avec des ondes sinusoïdales très étalées, le nerf et le muscle ne sont pas excités, il n'y a, dans ce cas, ni douleur ni contraction musculaire, et le passage du courant s'accuse néanmoins par des modifications profondes de la nutrition, se traduisant par une absorption plus grande d'oxygène et une production plus considérable d'acide carbonique. En changeant la forme de l'onde, chaque onde électrique produira une secousse musculaire. En augmentant leur nombre, non seulement le nombre des secousses ira en

augmentant, mais les diverses contractions iront en se fusionnant de plus en plus, jusqu'au moment où le muscle restera en contraction permanente. Le muscle est alors tétanisé, il faut pour cela de 20 à 30 excitations à la seconde pour les mnscle de l'homme. Lorsque le muscle est tétanisé, si on augmente le nombre des ondes, on augmente également l'intensité des phénomènes d'excitation, mais cela n'a pas lieu indéfiniment comme on serait tenté de le croire. A partir d'un maximum qui a lieu entre 2,500 et 5,000 excitations par seconde, on voit, au contraire, les phénomènes d'excitation décroître avec le nombre des oscillations électriques d'une façon indéfinie. Il en résulte ce phénomène surprenant qu'avec des oscillations suffisamment rapides, on peut faire passer à travers l'organisme des courants qui ne sont nullement perçus, alors qu'il seraient foudroyants si on abaissait la fréquence. J'avais pressenti ce résultat dès 1888, au cours de mes recherches sur la bobine d'induction, mais je ne pus en donner une première démonstration que dans mon cours du Collège de France (1889-1890), en employant l'alternateur que je vais décrire. Je vis alors clairement que l'excitation diminuait avec la fréquence, mais je ne pus supprimer complètement tout phénomène d'excitation avec l'alternateur en question. Je n'atteignis ce résultat qu'en décembre 1890, en substituant à ma machine, qui ne pouvait guère donner plus de 10,000 excitations par seconde, l'admirable appareil que le Dr Hertz venait de combiner et qui peut donner plusieurs *billions* d'excitations électriques dans une seconde. Je communiquai ce fait à la Société de Biologie les 24 février et 25 avril 1891, antérieurement par conséquent à la première publication, faite par M. Tesla, le 23 mai 1891, à New-York.

Production des courants périodiques. — J'ai employé trois dispositifs différents pour produire des ondes périodiques : 1° la bobine d'induction, dite bobine de Ruhmkorff; 2° un alternateur sans fer dont le dispositif principal a été indiqué par M. Gramme en 1870; 3° la décharge oscillante des condensateurs.

1° *Bobine.* — De la bobine je dirai peu de chose, sinon que c'est un instrument des plus infidèles avec lequel on peut à peine espérer atteindre 2,000 excitations par seconde. que l'on emploie comme interrupteur, soit le trembleur, soit un interrupteur automatique. Cela tient à la présence du fer doux du noyau qui, s'il se désaimante rapidement,

demande au contraire un temps assez long pour s'aimanter, ce temps d'aimantation limite rapidement le nombre des ondes qu'on peut obtenir; les ondes dues à l'aimantation sont, en outre, très différentes de celles que produit la désaimantation. De plus, la forme de ces ondes est inconnue et change lorsqu'on veut augmenter leur nombre.

2° *Alternateur*. — Il faut donc rejeter complètement tous les appareils dans lesquels les courants sont produits par les variations d'aimantation du fer. Ce résultat est obtenu avec l'appareil suivant. Il se compose d'un inducteur et d'un induit. L'inducteur est formé d'une bobine cylindrique en fer, munie de deux grandes joues en fer, de 50 centimètres de diamètre. Cette bobine peut tourner rapidement autour de son axe monté sur pointes. Autour de l'axe est roulé un fil de cuivre isolé qui, traversé par un courant constant, polarise une des joues nord et l'autre sud. A la face interne des joues, et près de leur bord sont implantées 100 chevilles en fer, qui se font vis-à-vis deux à deux, en laissant entre chaque couple nord-sud un petit espace libre de 1 centimètre environ. Dans cet espace libre on maintient, au moyen d'un support fixe, une petite bobine circulaire *sans fer*, ayant la forme d'une galette, constituant le circuit induit. En mettant la grosse bobine en mouvement, chaque paire de pôles qui passe devant la bobine fixe y induit une double onde sinusoïdale dont on gradue l'énergie, pour une même vitesse de rotation, en modifiant l'intensité du courant qui crée le champ magnétique inducteur. Cet appareil permet de modifier, soit le nombre de périodes par seconde, soit la forme de l'onde. Il a le grand avantage de fournir un nombre d'ondes variable sans en altérer la forme. Il suffit, en effet, tout en laissant la vitesse de rotation constante, d'enlever les chevilles polaires de deux en deux pour diminuer le nombre des courants, engendrés pendant un tour complet de l'inducteur. Avec une seule paire de chevilles polaires, on n'a qu'une période par tour, avec 100, on en a 100 dans le même temps et les ondes produites ont la même forme, puisque les pôles qui passent devant la bobine fixe ont la même valeur et la même aimantation. Avec cet appareil, j'ai pu aller jusqu'à 10,000 alternances à la seconde.

3° *Décharge des condensateurs*. — C'est le phénomène utilisé par le Dr Hertz pour produire des ondulations électriques extrêmement rapides. Ce phénomène a été découvert par Feddersen et étudié, il y a près de

quarante ans, par Helmholtz et sir W. Thomson, qui en ont donné la loi mathématique. Il consiste en ceci : Si on opère la décharge d'une bouteille de Leyde au moyen d'un conducteur, deux cas très différents peuvent se présenter suivant les valeurs relatives de la capacité C, du coefficient de self-induction L et de la résistance R du système. Si on a $R > \sqrt{\frac{4L}{C}}$, la décharge est continue; dans le cas contraire, elle est oscillatoire. Dans le cas de la décharge oscillatoire, les oscillations sont isochrones et leur amplitude décroit suivant les termes d'une progression géométrique. Le mouvement d'un liquide dans des vases communiquants fait bien comprendre ce qui se passe avec la bouteille de Leyde. Suivant la résistance offerte au mouvement du liquide le niveau reprend sa position d'équilibre ou bien d'une manière lente et sans la dépasser, ou à la suite d'une série d'oscillations, à amplitude décroissante, qui absorbent toute l'énergie par suite des frottements. On peut mesurer la durée et le nombre des oscillations en examinant la décharge au moyen d'un miroir tournant. Lorsque la résistance est négligeable, la durée d'une oscillation est donnée par la formule de Thomson $T = 2\pi\sqrt{L.C}$ en fonction de la capacité C et de la self-induction L du système.

On peut par conséquent donner à T les valeurs les plus différentes en modifiant L et C. Le Dr Hertz a atteint 1 billionième de seconde et M. Lodge, a pu abaisser la période oscillatoire jusqu'à faire rendre à la bouteille de Leyde un son musical perceptible à l'oreille. Dans mes premières expériences je me suis servi du vibrateur de Hertz; plus tard j'ai employé le dispositif plus puissant signalé par MM. Elihu-Thomson et Tesla. Enfin dans mes recherches récentes j'ai trouvé grand avantage à employer exclusivement l'appareil suivant, dont les expériences de M. Lodge, à propos des paratonnerres, m'ont donné l'idée. Soit AA (fig. 17) les armatures internes de deux bouteilles de Leyde montées en cascade. Ces armatures sont réunies à une source d'électricité à haut potentiel (machine de Holtz, bobine de Ruhmkorff ou transformateur). Les armatures externes BB' sont réunies entre elles par un solénoïde CC' composé d'un gros fil de cuivre faisant 15 à 20 tours. Chaque fois qu'une étincelle part AA', un courant oscillant extrêmement énergique prend naissance dans le solénoïde, à un tel point qu'en prenant comme pôles ses extrémités C, C', on obtient un courant qui peut allumer au blanc une forte lampe à incandescence L, tenue entre deux personnes

DD'. L'étincelle qu'on obtient entre CC' est beaucoup plus longue que celle qui éclate entre AA'. Cela tient à ce que, dans ce cas, la décharge des armatures extérieures BB' se fait d'une manière *soudaine*, tandis que celle des armatures intérieures AA' est *préparée*, la différence de potentiel entre les boules allant en croissant jusqu'à ce que l'étincelle éclate. Dans ces conditions la résistance du solénoïde CC' joue un rôle secondaire tandis que sa self-induction devient prépondérante. On peut rapprocher les effets produits par les décharges très brusques, de ceux

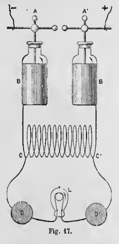


Fig. 17.

donnés en mécanique par les forces instantanées, ainsi que le fait remarquer très judicieusement M. Joubert. Placez un bloc de coton-poudre sur une plaque d'acier; il brûle lentement si on l'allume; il brise au contraire la plaque si on le fait détoner au moyen du fulminate de mercure. La même énergie pourtant a été mise en jeu dans les deux cas, mais dans le second la pression développée par les gaz est tellement soudaine que la résistance de l'air devient comparable à celle de l'acier. C'est la différence qui existe dans l'appareil décrit ci-dessus entre la pression électrique développée *graduellement* en AA', *soudainement* au contraire en

CC' du moment où la bouteille se décharge. Si l'on veut augmenter la tension du courant il suffit de plonger dans le solénoïde une bobine comprenant un plus grand nombre de tours. Cette bobine est logée dans un tube de verre plein d'huile qui l'isole complètement (voir fig. 18). On obtient ainsi facilement un torrent d'étincelles de 15 à 20 centimètres de longueur.

Dans les méthodes précédentes le corps humain est mis en communication matérielle avec la source électrique au moyen de conducteurs appropriés qui constituent les rhéophores. Dans la nouvelle méthode que j'ai décrite sous le nom d'*autoconduction*, il n'en est plus ainsi : l'être en expérience est complètement isolé de la source électrique. Les

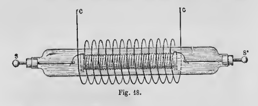


Fig. 18.

courants qui circulent dans l'individu ne lui parviennent pas au moyen de conducteurs; ils prennent naissance dans ses propres tissus, jouant le rôle de circuit induit fermé sur lui-même [1].

« Ces courants peuvent acquérir une puissance considérable, car ils ne produisent aucune douleur ni aucun phénomène conscient chez l'individu qui en est le siège. Ils agissent néanmoins énergiquement sur la vitalité des tissus.

« J'obtiens ce résultat en plongeant le sujet tout entier, ou une partie seulement de son corps, dans un champ magnétique oscillant, de très haute fréquence.

« Ce champ magnétique alternatif est produit de la façon suivante (fig. 19) : sur un cylindre en matière isolante (carton, bois ou verre, suivant les dimensions de l'appareil), est enroulé, en une ou plusieurs couches, un câble à lumière soigneusement isolé. On constitue de la sorte un solénoïde, *dans l'intérieur* duquel on place le sujet à électriser.

1. Voir *Société de biologie*, 4 février 1893.

Ce solénoïde est traversé par la décharge d'un condensateur, rendue oscillatoire par les procédés décrits ci-dessus.

« J'emploie, comme condensateur, de deux à douze bouteilles de Leyde cylindriques, disposées en deux batteries, reliées en cascade, dont la surface couverte a 50 centimètres de haut sur 20 centimètres de diamètre.

« La charge est effectuée périodiquement par un transformateur donnant environ 15,000 volts. Ce transformateur est animé par un alter-

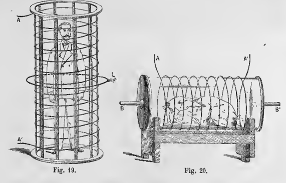


Fig. 19. Fig. 20.

nateur Siemens, sans fer, pouvant donner, au maximum, un courant de 12 ampères sous 350 volts.

« La fréquence est de soixante périodes par seconde. Dans ces conditions, la puissance d'induction du solénoïde, sur tout corps conducteur plongé dans son intérieur, est vraiment étonnante, comme le montrent les expériences suivantes :

« 1° On plonge dans un solénoïde (composé de trois à cinq tours d'un câble à 10 brins de 8 millimètres carrés) un fil de cuivre roulé en un cercle unique dont les extrémités portent une lampe de 100 bougies, consommant 3 ampères sous 110 volts; cette lampe est portée au blanc éblouissant;

« 2° Un homme arrondit ses bras de façon à embrasser le solénoïde et tient dans chaque main les extrémités d'une lampe à incandescence.

Le circuit formé par les bras est le siège d'un courant induit assez puissant pour allumer cette lampe qui prend 1/10e d'ampère environ. On diminue, autant que possible, la résistance de la peau des mains, en les plongeant dans deux vases contenant de l'eau salée chaude.

« L'alternateur peut être remplacé par une puissante bobine de Ruhmkorff qu'animent des accumulateurs pour opérer la charge périodique du condensateur. Les effets sont naturellement moins puissants, mais ce dispositif suffit néanmoins pour mettre en évidence la puissance d'induction du champ magnétique et son action sur l'organisme.

« Pour mesurer la puissance de champs magnétiques de cette fréquence, j'ai complètement échoué avec toutes les méthodes de mesure usitées pour les basses fréquences. Cette mesure était essentielle dans mes recherches, pour pouvoir me placer toujours dans des conditions identiques. Je suis parvenu à l'effectuer très simplement en utilisant les courants de Foucault, de la manière suivante.

« Dans un petit solénoïde, relié en série, au grand qui contient l'animal, je plonge un thermomètre à mercure. Le mercure est le siège de courants de Foucault qui l'échauffent très rapidement. Avec quatre jarres, la température du thermomètre s'élève à plus de 150 degrés en quelques secondes.

« L'effet calorifique mesure le produit de la fréquence par le carré du courant et permet d'opérer dans des champs identiques. Pour les faibles puissances, où il faut tenir compte des variations de la température de l'air, je remplace le thermomètre à mercure par un thermomètre à pétrole ou à air dont le réservoir renferme un petit tube de cuivre. »

Effets physiologiques des courants à haute fréquence. — On peut utiliser de deux façons différentes les courants à haute fréquence : 1° soit en leur faisant traverser *directement* les tissus qu'on veut soumettre à leur action; 2° soit en plongeant ces tissus dans *l'intérieur* du solénoïde, mais sans aucune communication avec lui.

Dans ce second cas, les tissus placés dans le solénoïde sont le siège de courants induits extrêmement énergiques, grâce à la fréquence de la source électrique. Ils se comportent comme des conducteurs fermés sur eux-mêmes et sont parcourus par des courants d'induction d'une grande intensité. Au point de vue physiologique, les effets obtenus sont sensiblement les mêmes dans les deux cas. Voici les principaux : 1° Action nulle sur la sensibilité générale et sur la contractilité mus-

culaire. C'est le phénomène le plus frappant. On a des courants capables de porter à l'incandescence une série de lampes électriques. Ces lampes placées entre deux personnes DD' (fig. 17), complétant le circuit s'allument sans que l'on ressente aucune impression sensorielle. Si le courant est très fort on éprouve simplement un peu de chaleur aux points d'entrée et de sortie du courant. J'ai pu faire traverser mon corps par des courants de plus de *trois mille* milliampères, alors que des courants d'une intensité dix fois moindre seraient extrêmement dangereux si la fréquence, au lieu d'être de 500,000 à 1 million par seconde était abaissée à cent, comme cela a lieu pour les courants alternatifs industriels.

On s'est beaucoup inquiété de l'explication à donner de ce résultat paradoxal que j'ai le premier signalé dans mes Leçons du Collège de France (1890) et à la Société de Biologie (24 février, 25 avril et 2 mai 1891)[1]. — Dans mes communications à la Société de Biologie j'avais émis deux hypothèses : 1° ou bien ces courants, à cause de leur énorme fréquence, passent exclusivement à la surface du corps (on sait en effet que les courants à grande fréquence ne *pénètrent pas* et s'écoulent à la surface des conducteurs comme le fait l'électricité statique); ou bien 2° les nerfs sensitifs et moteurs sont organisés pour répondre seulement à des vibrations de fréquence déterminée. C'est ce que nous voyons, par exemple, pour le nerf optique dont les terminaisons sont aveugles pour les ondulations de l'éther d'une période *inférieure* à 497 billions par seconde (rouge) et *supérieure* à 728 billions par seconde (violet).

Le nerf acoustique se trouve dans le même cas pour les vibrations sonores. En deçà et au delà de certaines périodes vibratoires, les sons musicaux n'existent plus et l'oreille reste insensible à ces excitations. On verra ci-dessous que le corps humain ne se comporte pas comme un conducteur métallique. Les courants à haute fréquence, au lieu de s'écouler par la surface du corps, pénètrent dans l'organisme et vont influencer des centres nerveux profondément situés, soit directement, soit en produisant des courants induits. Que ces excitations soient directes ou induites, la somme d'énergie qui traverse l'organisme reste

1. Voir : *l'Industrie électrique*, 25 avril 1992 ; *la Lumière électrique*, 16 avril 1892 ; et *l'Électricien*, 16 avril 1872.

la même, et la conclusion est la même dans les deux cas. En employant un courant à haute fréquence, l'organisme est traversé, sans manifester aucune réaction, par des courants dont l'énergie le détruirait si la fréquence était abaissée. On peut expliquer cette innocuité par l'absence d'excitation ou mieux encore en admettant que ces courants exercent sur les centres nerveux et sur les muscles cette action particulière si remarquable étudiée par M. Brown-Séquard sous le nom d'*inhibition*. L'expérience démontre en effet de la manière la plus frappante cette action inhibitoire des courants à haute fréquence, comme nous allons le voir :

1° Les tissus traversés par ces courants deviennent rapidement *moins excitables* aux excitants ordinaires. Cette diminution se traduit même par une *analgésie* remarquable qui frappe les points par où le courant pénètre dans le corps. Cette analgésie persiste, suivant les cas et les sujets; de une à vingt minutes [1];

2° Le système nerveux vaso-moteur est fortement influencé. Si l'on place par exemple un manomètre à mercure dans la carotide d'un chien, on voit la pression artérielle tomber de plusieurs centimètres sous l'influence de ce genre d'électrisation. On peut constater le même phénomène chez l'homme à l'aide du sphygmographe de Marey. Il y a donc inhibition manifeste du système nerveux vaso-moteur en dehors de toute sensation consciente. Ce fait prouve que les courants à haute fréquence pénètrent profondément dans l'organisme, comme je l'affirmais plus haut;

3° En continuant un temps assez long, on voit, chez l'homme, la peau se vasculariser et se couvrir de sueur, conséquence naturelle de l'action sur les vaso-moteurs. On arrive au même résultat en plaçant le sujet sur un tabouret isolant en communication avec une des pôles de la bobine à haut potentiel (fig. 18), le second pôle étant en communication avec une plaque métallique isolée supportée à une certaine distance de la tête. Le sujet est soumis de la sorte à l'action d'un champ électrique oscillant;

4° En soumettant un animal entier à ces courants (fig. 20), soit

1. Les docteurs Oudin et Cruet utilisent cette analgésie pour pratiquer différentes opérations de petite chirurgie sans douleur.

directement, soit en le plongeant dans le solénoïde, on constate une augmentation dans l'intensité des combustions respiratoires. Le thermomètre montre qu'il n'y a pas élévation de la température centrale. L'excès de chaleur produit est perdu par rayonnement et évaporation, ainsi qu'on le constate (en plaçant l'animal dans un des calorimètres que j'ai décrits antérieurement);

5° Pour étudier l'action de ces courants sur la cellule vivante, j'ai employé la levure de bière, et le bacille pyocyanique, grâce à l'obligeance de M. Charrin. Les courants à haute fréquence atténuent très nettement ce bacille au bout de quelques minutes. La fonction chromogène est supprimée tout d'abord. Si l'expérience dure une demi-heure on arrive à tuer le bacille. — Si on injecte ce bacille dans les tissus d'un animal vivant, on arrive à l'atténuer sur place par des courants que l'animal ne ressent en aucune façon. C'est là un résultat important, on le comprend, au point de vue pratique et que je poursuis actuellement.

Les résultats que je viens de signaler brièvement, et ceux déjà obtenus en clinique me donnent le droit d'espérer que nous possédons dans ces diverses modalités de l'énergie électrique des ressources thérapeutiques considérables. — En présentant le 3 juillet 1893 mes expériences à l'Académie des sciences, M. Cornu ajoutait :

« M. d'Arsonval nous a rendus témoins, M. Marey et moi, des principaux résultats consignés dans la Note précédente. Nous avons été particulièrement frappés de l'expérience dans laquelle six lampes (125 volts — 0,8 ampère) ont été portées à l'incandescence dans le circuit formé par nos bras, circuit formant dérivation sur les extrémités du solénoïde induit par les décharges oscillantes Nous n'avons pas éprouvé la moindre impression par le passage du flux électrique auquel nous étions soumis : on ne pouvait cependant pas douter de l'énorme quantité d'énergie traversant notre corps (900 volts $\times$ 0,8 ampère = 720 watts) : elle se manifestait soit par l'incandescence des lampes, soit par les étincelles vives et nombreuses qui se produisaient à la rupture du circuit. Cette même quantité d'énergie électrique, transmise sous forme de courants alternatifs à longues périodes (de 100 à 10,000 par seconde), aurait suffi pour nous foudroyer : dans les conditions ci-dessus, elle ne produisait aucune sensation appréciable. »

N° 16. — *Parallèle entre l'excitation électrique et l'excitation mécanique des nerfs.*

(Biologie, 4 juillet 1891.)

J'ai montré, comme on vient de le voir, qu'une excitation électrique est déterminée par l'équation $E = f(t)$, c'est-à-dire par les variations, en fonction du temps, du potentiel au point excité. La courbe définie par cette équation est *la caractéristique d'excitation.*

Par nombre d'expériences, M. Chauveau a montré, dès 1859, que les effets physiologiques, dus à l'*état variable* du courant, n'étaient nullement en rapport avac la *quantité* d'électricité traversant l'organe excité et que l'*intensité* de ce courant jouait au contraire un rôle profondément perturbateur de l'excitabilité. Il fut ainsi amené à conclure que l'électricité agit uniquement comme *excitant mécanique*, surtout à *son point de sortie* et en raison de la *densité* au point de sortie. Mes expériences sur l'onde électrique, relatées ci-dessus, confirment ces vues puisqu'elles montrent que c'est la *variation de pression électrique en fonction du temps*, qui définit l'excitation. Il m'a semblé intéressant de rechercher expérimentalement si la conclusion de M. Chauveau se trouverait confirmée en étudiant l'excitabilité *mécanique du nerf* par un procédé calqué sur celui qui m'a permis de formuler la loi de son excitabilité *électrique*.

Sans entrer ici dans le détail des procédés employés je dirai seulement que je suis arrivé à tracer la courbe des *pressions mécaniques* exercées sur le nerf au point excité exactement comme j'avais tracé celle des *pressions électriques*. J'ai obtenu ainsi une *caractéristique de l'excitation mécanique*.

Or, il résulte de l'examen de cette courbe que la variation de pression mécanique, en fonction du temps, agit exactement comme la variation de pression électrique. L'idée émise par M. Chauveau sous forme d'hypothèse, se trouve donc expérimentalement justifiée.

Il est très probable que l'on trouverait une courbe semblable pour tous les autres excitants connus du système nerveux.

N° 17. — *Nouvelle méthode d'excitation des nerfs et des muscles.*

(Académie des Sciences, 27 juin 1881.)

Les courants induits étant constamment employés comme excitants des muscles et des nerfs, en physiologie, il était très important de les graduer de façon à rendre comparables entre eux les travaux des différents expérimentateurs. Il est surtout extrêmement important de pouvoir, dans le cours d'une même expérience, reproduire une excitation toujours identique à elle-même. D'autre part, il faut réduire l'excitation électrique à une excitation *purement mécanique*, sans action chimique et ayant un *sens neutre* au point de vue de la direction du courant.

J'y suis arrivé au moyen de l'instrument suivant qui a figuré, en 1878, à l'exposition de M. A. Gaiffe qui l'avait construit sur mes indications.

Je prends une bobine d'induction à induit mobile, connue en physiologie sous le nom de chariot de du Bois-Reymond; seulement, au lieu d'employer comme courant inducteur une pile, *je me sers de la décharge d'un condensateur de capacité connue chargé à un potentiel connu.* La quantité d'électricité mise en jeu est donc ainsi mathématiquement dosée. Ce courant inducteur instantané, pouvant être assimilé à un courant qui commence et à un courant qui finit, donne naissance, dans le second fil, à deux courants instantanés, *de quantité égale, mais de sens inverse qui, par conséquent, s'annulent au point de vue chimique et au point de vue de la direction.*

L'excitation est ainsi réduite à un effet purement mécanique de l'électricité, effet qui sera toujours le même pour une même charge du condensateur et une même distance de la bobine induite. Je fais varier l'intensité de l'excitation de trois façons différentes :

1° En faisant varier la surface du condensateur, c'est-à-dire sa capacité;

2° Son potentiel;

3° En changeant la distance qui sépare les deux bobines (inductrice et induite).

Ce dernier procédé est suffisant à lui seul dans la pratique.

Cette méthode d'excitation présente l'énorme avantage, sur toutes les autres, de ne pas fatiguer le nerf, ainsi que l'a montré, par des tracés

comparatifs, M. Mendelshon, qui en a répandu l'usage en Allemagne et en Russie (fig. 21).

Ci-joint un tracé qui m'a été envoyé par M. Mendelshon : la courbe B

C

B

Fig. 21.

montre la fatigue d'un nerf excité par la décharge directe du condensateur (la hauteur des secousses va en diminuant). On voit, par la courbe C, qu'avec le dispositif que j'indique, la hauteur des secousses (pour le nerf similaire), reste constante.

N° 18. — *Procédé pour ralentir la décharge d'induction et exciter à volonté les nerfs et les muscles.*

(*Archives de Physiologie*, juillet 1891 et Biologie, 23 mai 1891.)

J'ai montré qu'en allongeant la caractéristique d'excitation suffisamment on arrive à ne plus exciter que la fibre musculaire. Et qu'on respecte au contraire les terminaisons nerveuses sensitives et motrices.

Ce résultat est important sur l'électrothérapie en ce qu'il permet de faire contracter les muscles *sans douleur*. C'est ce que produit le courant sinusoïdal. On arrive au même résultat avec la bobine d'induction par l'artifice suivant : soit une bobine d'induction à hélices mobiles (modèle portatif du Dr Tripier), animée par deux couples de Gaiffe au chlorure d'argent. A l'aide de tampons mouillés, j'excite, par exemple, les muscles de l'éminence thénar : la contraction est forte et douloureuse. Les nerfs sensitifs et moteurs sont influencés en même temps que les muscles. Sans rien changer, j'intercale, en dérivation, sur le fil induit un condensateur de 1 microfarad; le muscle se contracte encore, mais toute douleur a cessé. Que s'est-il donc passé? Simplement ce fait que l'interposition du condensateur a *ralenti la décharge*, *sans en modifier la quantité*, comme on peut s'en assurer au moyen du galvanomètre balistique.

En effet, la durée de la décharge induite est proportionnelle au produit $C \times R$ de la capacité C par la résistance R du système. La

résistance est restée la même dans les deux expériences, mais il n'en est pas de même de la capacité. Elle était environ de 1 millième de microfarad seulement avant l'interposition du condensateur. Après, au contraire, elle est devenue environ mille fois plus grande; de là la différence observée. Nous avons toutes les variétés intermédiaires en interposant successivement 1 dixième, 2 dixièmes... 10 dixièmes de microfarad. Nous passons donc ainsi graduellement *avec le même appareil*, des effets physiologiques des courants d'induction à ceux donnés par la pile.

N° 19. — *Chronomètre électrique mesurant la vitesse des impressions nerveuses.*

(Biologie, 15 mai 1886.)

Cet instrument répond à un besoin de la clinique des maladies nerveuses. Il mesure *directement*, au moyen du déplacement d'une aiguille sur un cadran divisé, la vitesse de l'agent nerveux.

Il se compose (fig. 22) d'un mouvement d'horlogerie E imprimant à un axe, une vitesse de rotation uniforme d'un tour par seconde. Cet axe se termine par un petit plateau B. En face, et sur son prolongement, se trouve un second axe, muni également d'un plateau, et qui se termine par l'aiguille C, se mouvant sur un cadran divisé. Les deux axes sont absolument indépendants tant qu'un courant électrique passe dans l'électro-aimant D.

Si on rompt le courant, le plateau de fer, grâce à un ressort antagoniste, embraye instantanément avec le plateau B qui tourne constamment à un tour par seconde.

Pour mesurer un espace de temps très court, il suffit de disposer les choses pour que le début du phénomène rompe le courant et que sa fin le referme.

Au moment même où le phénomène se produit, l'aiguille part, à raison de un tour par seconde. La durée du phénomène se lit sur le cadran en centièmes de seconde, si le cadran porte cent divisions.

Le temps perdu par l'électro-aimant est absolument négligeable; d'ailleurs comme il est constant, il n'influence en rien les mesures comparatives.

Pour adapter cet appareil à la mesure des sensations nerveuses, je

lui ai adjoint deux petits instruments fort simples J, K et I; le premier est tenu par le médecin, le second par le malade. Ce dernier, ayant les yeux fermés, le médecin le touche à l'aide du bouton K, en un point du corps qu'il s'agit d'explorer. Au moment même où a lieu le contact, l'aiguille du chronomètre part, parce que l'aiguille du manipulateur J K ouvre le circuit.

Quand le malade a senti, il referme le courant au moyen de la pres-

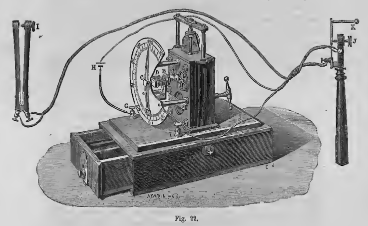


Fig. 22.

selle I qu'il tient à la main et arrête ainsi l'aiguille. On lit ainsi sur le cadran, en centièmes de secondes, le temps écoulé entre l'instant où le malade a été touché et l'instant où il a perçu cet attouchement. On compare ainsi très rapidement la durée du réflexe sensitif, dans les différentes parties du corps. On peut reconnaître si la moelle épinière est malade, quel est le point malade, etc.; il en est de même pour les nerfs. A l'aide de cet instrument, le clinicien étudie les lésions du système nerveux et arrive à les localiser comme un électricien recherche les défauts d'une ligne télégraphique.

A l'aide de cet instrument, M. Brown-Séquard et moi avons entrepris une série de recherches qui ont donné déjà des résultats très inté-

ressants au point de vue des causes physiques ou morales qui modifient l'état des centres nerveux.

Les différentes sensations (pression, chaleur, froid, électricité, etc.) se transmettent avec des vitesses différentes. Certaines affections du système nerveux font disparaître les unes pour exalter les autres, etc.

Cet appareil a rendu de très grands services pour l'étude de la physiologie des organes des sens et a donné lieu à d'importants travaux, notamment au laboratoire de M. Beaunis à la Sorbonne. Voir aussi les travaux de Remond (de Metz) et de Grigorescu sur le diagnostic des maladies du système nerveux.

N° 20. — *Action du champ magnétique sur les phénomènes chimiques et physiologiques.*

(Biologie, 22 avril 1882.)

Les expériences de Faraday ont démontré qu'un champ magnétique change l'état moléculaire des corps qui y sont plongés, ce qu'on reconnaît par des procédés optiques (rotation du plan de polarisation). Je pensai qu'on pouvait rendre cette modification apparente en employant pour la déceler des réactions chimiques.

Dans une série expériences, en partie inédites, j'ai reconnu que le champ magnétique retarde la fermentation alcoolique, qu'il empêche certaines réactions chimiques à action lente et qu'il agit très nettement sur le développement embryonnaire, même chez les êtres supérieurs (œuf d'oiseau en incubation). Mes premiers résultats ont été confirmés depuis ma publication de 1882, par divers expérimentateurs francais et étrangers.

J'ai montré également que le champ magnétique modifie la vitesse d'écoulement des liquides circulant dans les tubes capillaires. L'expérience est notamment très nette avec le sang défibriné. Ce ralentissement est en rapport avec la conductibilité électrique du liquide et s'explique par les phénomènes d'induction que fait naître le déplacement d'un liquide conducteur au voisinage d'un champ magnétique puissant.

On observe le même phénomène sur le vivant en examinant, par exemple, la circulation du sang dans la langue de la grenouille. Ces phénomènes sont beaucoup plus marqués avec un champ alternatif.

N° 21. — *Myophone ou microphone appliqué à l'étude de la contraction musculaire.*

(Voir Boudet de Pâris : Applications du téléphone et du microphone à la Clinique, page 106. Frédéric Henry, éditeur, Paris, 1880 et Société de Biologie, 1886.)

En 1878, j'eus l'idée d'appliquer le microphone pour étudier les vibrations du muscle à l'état actif (contraction et contracture musculaires), ainsi qu'à l'état de repos (tonus musculaire, bruit rotatoire, paralysie musculaire).

Je disposai une forme spéciale de microphone pour cette étude (microphone à réglage magnétique). Mon ami, le Dr Boudet de Pâris, m'ayant manifesté le désir de faire des recherches cliniques au moyen de ce procédé nouveau, je lui communiquai mes premières expériences physiologiques qui sont restées inédites.

Voici d'ailleurs ce qu'il dit, à ce sujet, dans son travail :

« Je dois d'abord reconnaître qu'avant moi M. d'Arsonval avait eu l'idée d'appliquer le microphone à l'étude du bruit musculaire ; mais diverses circonstances l'ayant forcé d'interrompre ses recherches, il a bien voulu me faire part de ses résultats, qui concordent d'ailleurs pleinement avec ceux que j'ai obtenus par la suite. »

Voici ce que j'avais constaté dans les expériences communiquées à M. Boudet :

1° Au myophone le muscle, contrairement à ce que montre le myographe, ne fusionne jamais les secousses. Quelques rapides que soient les excitations (j'ai dépassé 1000 par seconde) le muscle tend toujours un son de même hauteur que l'interrupteur ;

2° L'intensité du son est beaucoup plus grande, quand le muscle ne se contracte pas à vide, mais se trouve tendu par un poids ou un ressort.

Sur l'animal vivant :

1° Le bruit musculaire (dû au tonus) s'élève à mesure qu'on tend le muscle davantage ;

2° Il disparaît si on coupe le nerf moteur ou si on empoisonne l'animal par le curare. Il n'est pas dû à la circulation, puisqu'il persiste après sa suppression chez la grenouille.

M. Boudet a confirmé ces résultats que je lui avais communiqués verbalement. Il en a trouvé de nouveaux en transportant dans la cli-

nique ce procédé d'investigation en collaboration, soit avec M. Debove, soit avec M. Brissaud. (Voir son travail ci-dessus mentionné.)

Le myophone m'a permis d'obtenir des résultats très intéressants qui sont relatés ci-dessous.

N° 22. — *La durée de l'excitabilité des nerfs et des muscles, après la mort, est beaucoup plus grande qu'on ne le croit généralement.*

(Société de Biologie, 1886.)

On enseigne, en physiologie, que chez les animaux supérieurs, l'excitabilité électrique du nerf disparaît quelques minutes, et celle du muscle, quelques heures après la mort. Cela est absolument vrai quand on prend, pour déceler cette excitabilité, le raccourcissement en masse du muscle (contraction ou raccourcissement visible à l'œil nu).

J'ai reconnu qu'il en est tout autrement lorsqu'on emploie le myophone pour déceler le mouvement musculaire. Chez un lapin, notamment, l'irritation électrique du sciatique faisait vibrer les muscles du mollet dix heures après que toute contraction du muscle, visible à l'œil, avait disparu. La mort partielle des tissus est donc infiniment plus lente qu'on n'est tenté de le croire à première vue.

Cette persistance de l'action du nerf sur le muscle ne se traduisant pas, néanmoins, par un mouvement apparent de ce dernier, explique très bien comment il peut se faire que la perte d'excitabilité d'un nerf moteur coïncide quelquefois avec la conservation de ses propriétés trophiques; tel est le cas, par exemple, de paralysie radiale signalé à la Biologie, en 1886, par MM. Déjerine et Vulpian.

En communiquant ces résultats le 26 juin 1893 à l'Académie des sciences, M. Brown-Séquard ajoutait :

« Trois points principaux méritent d'attirer l'attention dans la Note si importante de M. d'Arsonval.

« Le premier est que des muscles atteints d'une rigidité cadavérique complète (c'est ce qui a eu lieu lorsqu'il a constaté que des muscles se contractaient encore, chez un lapin, dix heures après la mort) peuvent encore être le siège d'actions motrices rythmiques. Ce fait-là n'est nouveau que par le rythme des contractions. J'ai, en effet, dans plusieurs communications à l'Académie, montré que des muscles atteints de rigidité cadavérique se contractent et se relâchent alternativement,

mais d'une manière irrégulière et de deux façons distinctes : dans l'une, la contraction peut être excessivement lente et ne s'accomplir qu'en huit, dix, quinze heures ou beaucoup plus et il en est de même de l'allongement qui la suit. Dans l'autre, d'extrêmement petites contractions suivies d'aussi petits allongements ont lieu alternativement avec une lenteur très grande, car il n'y en a guère que de deux à huit ou dix par heure. Ces petits mouvements ne sont pas rythmiques et diffèrent, conséquemment, en cela, de ceux dont M. d'Arsonval a découvert l'existence. Ils en diffèrent encore en ce qu'ils semblent se produire spontanément et en ce qu'ils peuvent se montrer une ou même deux semaines ou encore plus longtemps après la mort. Enfin ils en diffèrent aussi en ce qu'ils ne donnent aucun bruit au myophone et en ce que l'excitation des nerfs dans la période où ils sont encore capables d'agir ne les modifie en rien.

« Le second point principal est entièrement nouveau. Il s'agit du fait qu'un muscle atteint de rigidité cadavérique complète et restant (en apparence) absolument inerte sous l'influence des causes les plus énergiques de contraction est cependant capable d'actions motrices rythmiques lorsqu'on excite son nerf. Nous devons à M. d'Arsonval, par cette découverte, la connaissance d'un des faits les plus intéressants trouvés jusqu'ici relativement à la physiologie des nerfs et des muscles.

« Le troisième point découvert par mon distingué suppléant au Collège de France est que les nerfs moteurs peuvent rester doués, bien plus longtemps qu'on ne croyait, après la mort, de la puissance de mettre en jeu les muscles. Pour un lapin, par exemple, l'excitabilité motrice dans les nerfs des membres, d'après ce qu'on croyait, n'existe guère que de vingt à soixante-dix minutes. Il est très certain qu'il en est ainsi lorsqu'on ne juge de l'existence de l'excitabilité du nerf que par un mouvement visible, se produisant par la galvanisation de celui-ci. Avec le myophone de M. d'Arsonval, à la fois si simple et si délicat, les choses changent et l'oreille fait entendre ce que les yeux ne peuvent voir. Grâce à l'emploi de cet ingénieux instrument, on peut maintenant constater que la durée de la persistance *post mortem* de l'excitabilité des nerfs moteurs peut être doublée, triplée ou même dépasser de plus de dix fois ce qu'elle est d'ordinaire. Il y a là, ainsi que dans les faits relatifs aux muscles dont j'ai parlé, des particularités en parfaite

harmonie avec les preuves si intéressantes de vie *post mortem* que nous a signalées récemment notre éminent confrère, M. Gautier. »

Mes résultats ont été confirmés récemment par M. Tissot, en employant une méthode différente.

N° 23. — *Dispositif pour avoir une excitation électrique constante dans les recherches myographiques.*
(Biologie, 1890 et 1893.)

Ce procédé consiste à faire tomber, toujours de la même hauteur, une petite masse de fer doux, devant un barreau aimanté fixe, portant une petite bobine. La masse de fer doux est fixée à l'extrémité d'un levier, que soulève, à chaque révolution, le cylindre enregistreur. On règle l'intensité de l'excitation en éloignant plus ou moins l'aimant de la masse de fer doux. Le courant engendré dans la bobine, par la chute du fer doux, sert à exciter le nerf. Ce courant est une onde sinusoïdale complète ne pouvant produire aucune polarisation du nerf.

N° 24 — *Appareil destiné à mesurer la conductibilité des tissus vivants pour le son.*
(Société de Biologie, 1887.)

L'auscultation et la percussion reposent sur la perméabilité sonore des tissus vivants. On n'a aucun moyen de *mesurer* cette perméabilité, et le médecin s'en rapporte à une sensation purement subjective qui ne peut donner aucune indication *quantitative*.

J'ai paré à cet inconvénient de la manière suivante :

J'applique un téléphone sur la poitrine; ce téléphone est mis en vibration sonore au moyen d'une bobine à chariot, ayant pour interrupteur un diapason donnant le *la* normal. Il constitue de la sorte, une source sonore de hauteur fixe dont on fait varier l'intensité par le glissement de la bobine. Le médecin applique l'oreille sur le point du corps opposé au téléphone, il fait varier (par l'éloignement de la bobine) l'intensité du son jusqu'au minimum perceptible.

L'écart des deux bobines (inductrice et induite) donne la valeur de la perméabilité sonore du tissu.

Un de mes élèves a publié, sous ma direction, un important travail clinique sur ce sujet.

N° 25. — *Les sciences physiques en biologie.*

(*La Lumière électrique*, 1881.)

Étude publiée en 17 articles, dans laquelle je passe en revue l'importance des différentes conditions physiques sur les manifestations vitales, et où je montre que l'être vivant doit être considéré et étudié comme un simple *transformateur d'énergie*.

N° 26. — *Discussion de la Commission internationale d'électro-physiologie.*

(*Revue scientifique*, 3 décembre 1881.)

J'ai publié cette discussion en qualité de secrétaire de la commission et pour répondre à une réclamation très juste que M. Gaiffe avait faite au sujet du rapport publié par M. du Bois-Reymond dans le même journal. En dehors des idées échangées, on voit que c'est sur mon insistance réitérée que les électrothérapeutes allemands ont adopté les appareils gradués en unités C. G. S. Je dis de plus dans cet article que la connaissance de l'intensité du courant employé en électrothérapie n'est pas suffisante pour le caractériser, mais qu'il faut connaître aussi la *chute* de potentiel entre les électrodes ainsi que la *durée* et les *phases* de cette chute. On y trouve la première mention de la caractéristique d'excitation.

N° 27. — *Dangers des générateurs mécaniques d'électricité, moyen de les éviter.*

(Biologie, 27 décembre 1884.)

J'ai eu à m'occuper de cette question comme membre de la commission chargée d'élaborer un projet de loi pour réglementer la production et la distribution de la force et de la lumière par l'électricité.

Le ministère nous demandait de déterminer, expérimentalement, quelles étaient, pour le courant électrique, la tension et l'intensité qu'il serait dangereux de dépasser dans la pratique.

Je montrai que le problème ainsi posé n'était susceptible d'aucune

solution, en prouvant expérimentalement les trois propositions suivantes :

1° Une pile et une machine donnant, dans une canalisation ordinaire, deux courants ayant *même tension* et *même intensité*, n'offrent pas les mêmes dangers ;

2° Deux machines donnant, *dans un circuit semblable*, des courants ayant *même tension* et *même intensité*, sont inégalement dangereuses ;

3° *Un même courant non dangereux dans un circuit peut l'être dans un autre.*

Le danger provient uniquement de la self-induction de la machine ou du circuit et nullement de l'intensité et de la tension du courant. Pour éviter tout danger, il suffit d'empêcher l'extra-courant de rupture de passer par le corps de l'expérimentateur.

J'ai proposé le moyen suivant :

Je place en dérivation, sur les bornes de la machine, une série de voltamètres à lame de plomb et à eau acidulée, en nombre suffisant pour que leur force électromotrice de polarisation soit légèrement supérieure à celle de la machine. Cette dérivation est infranchissable pour le courant *direct* de la machine, mais il n'en est pas de même pour l'extra-courant de rupture dont la tension est infiniment supérieure, et constitue seul le danger. Si le circuit, pour une cause quelconque, vient à être rompu, l'extra-courant passe exclusivement par les voltamètres qui servent ainsi de parafoudre.

On peut atténuer l'étincelle de rupture par l'emploi de condensateurs, comme l'avait proposé mon ami regretté M. Raynaud. Ce moyen est très efficace pour protéger la machine, mais il augmente, au contraire, ainsi que je l'ai montré, les dangers pour les hommes qui la manient.

N° 28. — *La mort par l'électricité dans l'industrie. Ses mécanismes physiologiques. Moyens préservateurs.*

(Société de biologie et Académie des Sciences, 4 avril 1887.)

J'ai provoqué la mort par foudroiement à l'aide des différentes machines électriques employée dans l'industrie. J'ai trouvé que, quelle que soit la variété des phénomènes physiologiques accompagnant le foudroiement, l'électricité entraîne la mort seulement de deux manières :

1° *Par action directe* (effets disruptifs ou électrolytiques de la décharge désorganisant physiquement les tissus);

2° *Par action réflexe ou indirecte* (en agissant sur les centres nerveux dont l'irritation entraîne l'infinie variété d'effets connus depuis Brown-Séquard sous les noms d'*Inhibition* et de *Dynamogénie*).

Au point de vue pratique, ces deux genres de mort se distinguent également l'un de l'autre.

En effet, la mort par action directe est irrémédiable et définitive; au contraire, la mort par action réflexe n'est la plupart du temps qu'apparente. Elle n'est définitive que si on n'intervient pas à temps.

Dans toutes mes expériences, j'ai pu ramener à la vie les animaux foudroyés par les machines industrielles en pratiquant sur eux, immédiatement, la respiration artificielle. Les courants employés jusqu'ici dans l'industrie tuent le plus souvent par arrêt de la respiration. En empêchant l'asphyxie, ou en faisant cesser la syncope, au moyen de la respiration artificielle, on peut donc ramener l'individu à la vie.

Cette conclusion avait son importance pratique au point de vue de l'hygiène publique ainsi que les faits l'ont prouvé depuis.

N° 29. — *Régulateurs électriques de vitesse; procédés pour obtenir un moteur à vitesse rigoureusement constante, réglable pendant la marche même de l'appareil et quel que soit l'effort à vaincre.*

(*Archives de physiologie*, 1891.)

J'ai employé une petite machine Gramme, pouvant donner une force de 10 à 12 kilogrammètres. Pour rendre sa vitesse constante et indépendante de l'effort à vaincre, j'ai simplement muni sa poulie motrice d'un petit accessoire qui constitue le régulateur de vitesse que la figure ci-jointe représente d'une façon assez claire.

Sur la poulie motrice P que termine l'axe de la machine, je fixe une lame de ressort plat R, dont les deux extrémités sont pincées sous une plaque tenue par des vis à l'extrémité de la poulie. Ce ressort prend une forme circulaire par sa propre élasticité. Lorsqu'on veut une grande précision, on le munit de deux masses égales et placées symétriquement par rapport à l'axe de rotation en M et M'.

En face de ce ressort et sur le prolongement de l'axe de rotation se trouve une vis V portée par une potence faisant corps avec le bâti qui

porte la machine. Cette vis est munie d'un contre-écrou servant à la fixer dans sa position. Elle peut naturellement s'approcher plus ou moins du ressort R en la faisant avancer dans l'écrou qui la porte. Cela posé, le courant arrive en B', passe par la pointe V au ressort R, de là dans l'anneau de la machine, et de l'anneau dans les inducteurs pour ressortir par la borne la plus éloignée qu'on voit à gauche de la figure, comme dans un moteur électrique ordinaire. Le jeu de l'appareil est à présent facile à comprendre, dès que le courant traverse le moteur, l'anneau se met à tourner et avec lui la poulie P et le ressort circulaire R qui en

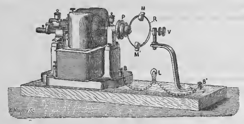


Fig. 23.

sont solidaires. Sous l'influence du courant, la vitesse de rotation s'accélère jusqu'à ce que la force centrifuge développée par la rotation aplatisse suffisamment le ressort circulaire R pour l'obliger à quitter la pointe V et à rompre par conséquent le courant qui amène l'appareil. Le moteur n'étant plus traversé par le courant, sa vitesse diminue et le ressort R vient de nouveau au contact de la pointe V, et ainsi de suite.

Pour régler la vitesse *pendant la marche de l'appareil*, il suffit de faire mouvoir dans son écrou la vis V à la rencontre du ressort R.

Dans un second dispositif, je suis arrivé à commander un moteur électrique, *capable de développer un effort puissant*, au moyen d'un diapason. J'ai pu réussir grâce à l'artifice suivant qui transforme un électro-diapason ordinaire en *inverseur* de courant (voir fig. 24). Le diapason D communique avec le *milieu* N d'une batterie d'accumulateurs accouplés en série; une de ses branches porte à son extrémité une lame élastique L venant butter alternativement contre deux pointes V, V', à droite et à

gauche. Chacune de ces pointes est en communication avec un des pôles extrêmes de la batterie. De cette manière, quand le diapason touche la pointe de gauche, par exemple, il est traversé par un courant positif; le courant est au contraire négatif si c'est la pointe de droite. Il suffira donc d'intercaler dans le circuit du diapason un moteur électrique quelconque

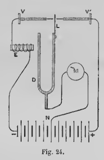


Fig. 24.

M; à courants alternatifs (moteur Siemens, Gramme ou autre) et de lancer à la main sa bobine mobile pour qu'elle tourne d'une façon absolument synchrone aux vibrations du diapason. Tout l'artifice consiste, je le répète, dans le dispositif qui fait du diapason ordinaire un inverseur de courant en le reliant au milieu d'une batterie voltaïque ou, ce qui revient exactement au même, en le reliant au pôle de même nom de deux batteries séparées.

Ce dispositif de *vibrateur-alternateur* est très commode lorsqu'on veut faire traverser les tissus vivants par des courants fréquemment renversés provenant d'une pile. Je m'en suis servi avec avantage dans des expériences d'électrisation où je voulais me mettre à l'abri des phénomènes de polarisation



SECTION III

LUMIÈRE : SES EFFETS SUR LES TISSUS VIVANTS
PROCÉDÉS D'ANALYSE PHYSIOLOGIQUE

N 30. — *Surdité produite par une lumière intense.*

Au cours d'expériences faites avec un arc voltaïque puissant (photographie des spectres d'absorption de l'hémoglobine) j'ai été frappé d'une surdité (s'accompagnant de vertiges) qui a duré plusieurs jours. Le même phénomène s'étant répété chaque fois que je fixais l'arc voltaïque, je me suis livré, depuis 1889, à une enquête auprès des électriciens dont quelques-uns m'ont dit avoir constaté le même effet, lorsque j'eus appelé leur attention sur ce trouble bizarre dont il n'avaient pas vu la cause. Cette surdité, produite par action réflexe, rentre dans la catégorie des réactions que les organes des sens exercent les uns sur les autres. Ce fait est à rapprocher de l'éternuement que produit un éclairage subit de la rétine et explique très bien pourquoi, dans l'obscurité, on constate une augmentation de l'acuité auditive.

N° 31. — *La fibre musculaire est directement excitable par la lumière.*

(Biologie, 9 mai 1891.)

Après avoir montré que les nerfs et les muscles ne pouvaient être excités par des vibrations électriques Hertziennes, dont la période variait entre 15 et 25 billionièmes de seconde, je me suis demandé, si des vibrations un million de fois plus rapides (lumière) les laisseraient également

indifférents. J'ai donc essayé d'exciter le nerf et le muscle directement par un rayon lumineux.

Jusqu'à présent l'iris était le seul organe musculaire connu qui répondît à ce genre d'excitation, comme l'ont démontré les expériences classiques de Brown-Séquard sur l'œil de l'anguille, privé de rétine, et recevant la lumière à travers un corps athermane (cristal d'alun).

J'ai complètement échoué avec le nerf et avec le muscle en les éclairant brusquement avec un puissant faisceau de lumière électrique. Dans ces conditions on n'obtient aucun mouvement perceptible de la fibre musculaire.

L'idée me vint alors d'attacher le faisceau musculaire à mon myophone, décrit plus haut; même insuccès. Mais, si dans ces conditions, on rend le faisceau lumineux *intermittent*, soit par un diapason muni d'un écran, soit par une roue opaque percée de trous équidistants, le myophone rend un son, faible mais net, dont la hauteur correspond aux oscillations du faisceau lumineux. Toute vibration cesse si on tue le muscle par la chaleur. La fibre musculaire est donc bien excitée par la lumière. Je n'ai pas pu réussir, en éclairant le nerf moteur, à obtenir les mêmes effets. Ce résultat négatif ne veut pas dire que le nerf soit inexcitable par la lumière mais simplement que son excitation est trop faible pour réagir sur le muscle. Cette expérience prouve de plus que l'excitant lumineux se comporte comme l'excitant électrique et comme l'excitant mécanique puisque la lumière, comme l'électricité, n'agit que par la brusquerie de sa *variation* d'intensité et non par *la valeur absolue* de cette intensité.

Ces expériences concordent bien avec ce fait d'observation vulgaire que l'action de la lumière est nécessaire au maintien de la santé en apportant aux tissus une excitation qui, pour n'être pas visible, n'en est pas moins indispensable.

N° 32. — *Action de la lumière sur les microbes.*

(Biologie, 1893.)

J'ai étudié cette action, en collaboration avec M. Charrin, sur le bacille pyocyanique. Ce microbe est atténué d'abord, puis tué ensuite, par l'exposition à une vive lumière blanche. Si on répète la même expérience en intercalant sur le trajet du faisceau lumineux une solution

de bichromate de potasse on peut éclairer indéfiniment ce microbe sans le tuer ni même l'atténuer. Comme la solutiou de bichromate arrête seulement les radiations chimiques du spectre on en conclut que le pouvoir microbicide appartient seulement à ces radiations.

N° 33. — *Photographie du spectre d'absorption de l'hémoglobine. — Existence d'une bande invisible à l'œil. — Application médico-légale.*

(Biologie, 4 mai 1889.)

On a bien étudié le spectre d'absorption de l'hémoglobine dans la région que l'œil peut analyser. Je me suis demandé si cette substance ne présentait pas également des bandes d'absorption dans la région invisible du spectre correspondant à l'ultra-violet. Pour résoudre le problème, je me suis naturellement adressé à la photographie, en employant différents dispositifs capables de me donner des radiations invisibles allant aussi loin que possible dans la région violette du spectre.

J'ai éliminé d'une façon complète tous les milieux absorbants autres que la solution à étudier. La lumière, dont le spectre doit venir s'imprimer sur la plaque photographique, ne traverse que la solution sanguine et l'air atmosphérique qui produit une absorption absolument négligeable. Pour arriver à ce résultat j'ai supprimé toutes les pièces ordinaires du spectroscope : collimateur, lentilles, lunette et prisme; de plus j'obtiens un *spectre normal*, où les différentes couleurs occupent des espaces sensiblement égaux, contrairement à ce que donnent les prismes.

Pour cela j'emploie un *réseau concave par réflexion*, tracé sur métal. Ces réseaux, d'un travail admirable, sont aujourd'hui fabriqués couramment en Amérique, sous la direction de M. le professeur Rowland. L'*élément* du réseau que j'ai employé est d'environ 1/600 de millimètre, ce qui fait que son premier spectre a l'étendue de celui que donneraient six prismes de Flint de 60 degrés.

Au *centre de courbure* du réseau, j'installe la fente lumineuse parallèlement au trait du réseau et un peu au-dessous de l'axe principal du miroir-réseau. J'obtiens ainsi, au-dessus de la fente et sur le même plan, un spectre parfaitement au point et très pur, que je reçois sur plaque photographique, disposée en lieu convenable. Par ce dispositif extrême-

ment simple, tout l'appareil se trouve réduit à une fente et à un miroir concave, lequel joue à la fois le rôle du collimateur, du prisme et de la lunette du spectroscope ordinaire. Le rayon lumineux décomposé par le réseau n'a donc à traverser aucun milieu transparent autre que l'air atmosphérique, et ainsi se trouvent éliminées toutes les causes d'erreur tenant à l'absorption due aux milieux optiques composant l'appareil spectral ordinaire.

Reste à présent à disposer la solution d'hémoglobine devant la fente du spectrographe de façon à ce que le rayon lumineux ne traverse qu'elle. — J'y suis arrivé de plusieurs façons :

1° En donnant à la solution la forme d'une goutte liquide suspendue librement à l'extrémité d'une baguette par capillarité ;

2° En faisant adhérer la solution au pourtour d'un petit anneau métallique sous forme d'un diaphragme liquide :

3° Enfin en disposant la solution dans une capsule métallique à fond plat, parfaitement argenté et poli. Le rayon lumineux, dans ce cas, est projeté sur le liquide et en sort, après réflexion, ayant traversé deux fois la nappe liquide et n'ayant traversé d'autre milieu qu'elle. Par l'un quelconque de ces trois dispositifs, qui sont également bons, on évite d'enfermer la solution dans un milieu transparent quelconque.

Je me suis servi successivement de quatre sources lumineuses : 1° le soleil ; 2° l'arc voltaïque ; 3° la lampe à l'albo-carbone (combustion, à l'air libre du gaz d'éclairage saturé de vapeurs de napthaline) ; 4° lumière Drumond.

La lumière solaire était projetée sur la fente du spectrographe par un miroir argenté à la Foucault, la couche d'argent étant à l'air libre. Pour donner au spectre une intensité lumineuse plus grande, nécessitée par son énorme dispersion, j'ai remplacé parfois le miroir plan par un miroir concave projetant sur la fente l'image petite mais très lumineuse du soleil.

Quand on opère avec l'arc voltaïque, c'est l'*image du charbon positif* qu'il faut projeter sur la fente à l'aide du miroir concave argenté à la Foucault. On a ainsi un spectre très brillant et continu. On procède de même avec la lampe à albo-carbone. Toutes ces sources de lumière sont nues ; il faut rejeter absolument les lampes nécessitant pour leur fonctionnement la présence d'un verre qui absorberait les radiations ultra-violettes.

Quant aux plaques photographiques, je me sers de plaques sèches au gélatino-bromure d'argent; je me suis très bien trouvé des marques Lumière et Guilleminot. Je développe avec le révélateur Mercier à l'hydroquinone et à l'éosine. Ce révélateur permet de graduer comme on veut l'intensité du cliché et ne tache pas les doigts, mais on peut également employer le révélateur à l'oxalate de fer. Je fixe à l'hyposulfite 15 p. 100.

Je me bornerai à signaler une des particularités les plus saillantes que j'ai remarqué avec l'hémoglobine oxygénée.

Si l'on examine à l'œil nu le spectre de l'hémoglobine oxygénée, on sait que pour une dilution convenable on aperçoit deux bandes caractéristiques au voisinage des raies D et E de Frauenhofer. Si la solution est de plus en plus concentrée, on éteint successivement le violet, le bleu et le vert, mais d'une façon régulière et sans produire de bandes, du moins d'une façon appréciable à l'œil.

Lorsque l'on dilue fortement la solution, de manière à voir très facilement les deux bandes caractéristiques, il semble même que la région violette n'ait absolument rien perdu de son éclat.

Le résultat est tout autre avec la photographie, quelle que soit la source de lumière employée (soleil, arc voltaïque, lumière Drumond ou lampe albo-carbonée). Indépendamment des deux bandes caractéristiques, on voit une troisième bande beaucoup plus large, et qui est tout à fait remarquable par la netteté avec laquelle elle se termine dans l'ultraviolet. Ainsi, chose inattendue, l'hémoglobine oxygénée, au lieu d'éteindre régulièrement le violet et l'ultra-violet, comme l'examen à l'œil semblait l'indiquer, l'hémoglobine, dis-je, est absolument transparente pour les radiations ultra-violettes, à partir d'une certaine longueur d'onde. Quelle que soit la concentration de la solution, cette bande occupe toujours le même espace et se montre d'une sensibilité excessive. Quand le sang est dix fois trop dilué, pour qu'on aperçoive à l'œil les deux bandes du jaune, la photographie accuse encore très nettement la bande d'absorption de l'ultra-violet.

Il existe d'autres bandes dans l'ultra-violet, mais qui sont moins nettes que celle que je viens de signaler; il me suffit d'indiquer que cette première bande semble s'étendre de la raie G, un peu au delà de la raie H_1, et que, par conséquent, elle correspond à des longueurs d'onde allant de 430 à 390 millionièmes de millimètre environ. Elle devrait

donc pouvoir être photographiée avec un spectroscope ordinaire à prisme de Flint qui donne un spectre s'étendant au delà de la raie H_2. L'expérience a répondu affirmativement à cette prévision, car je suis arrivé à photographier cette troisième bande avec le spectroscope ordinaire à trois branches de Duboscq.

On sait quelle importance présente dans les recherches médico-légales la possibilité de reconnaître la présence du sang, quand ce liquide surtout est en minimes quantités ou altéré de façon à rendre impossible l'analyse chimique et microscopique. On a alors recours au spectroscope, qui permet de constater la présence des deux bandes classiques que l'hémoglobine oxygénée donne dans le jaune. Malheureusement beaucoup d'autres liquides, et notamment le carmin, donnent également ces deux bandes d'absorption. De sorte que l'analyse spectrale, à l'aide de l'œil seul permet de *soupçonner*, mais non *d'affirmer* la présence du sang dans les matières incriminées. Agir autrement serait s'exposer à des méprises dont les conséquences peuvent parfois être terribles. L'analyse optique, aidée de la photographie, en permettant de constater la présence de cette troisième bande d'absorption, apporte aux constatations médico-légales un nouveau caractère qui transforme la probabilité en quasi-certitude. Je dis *quasi-certitude*, bien que, jusqu'à présent, je n'aie pu déceler ce caractère des trois bandes que sur l'hémoglobine.

Le carmin ne donne rien de semblable ni aucune des matières colorées en rouge que j'ai pu observer jusqu'à présent.

L'existence de cette troisième bande d'absorption, correspondant aux radiations que j'ai signalées plus haut, constitue pour l'hémoglobine un caractère d'une sensibilité extrême. Une solution qui, à l'œil nu ne présente pas trace des deux bandes d'absorption du jaune, donne encore très nettement sur la plaque photographique la troisième bande, *même après avoir été étendue de dix fois son volume d'eau*. Cela tient à ce que, grâce à la plaque sensible, on peut faire intervenir le facteur *temps*, en laissant la plaque exposée aux radiations, ce qui évidemment ne peut avoir lieu pour l'œil. Je crois donc ce procédé appelé à rendre des services dans certaines constatations médico-légales difficiles.

Étant donnée la région du violet où s'arrête cette troisième bande et où réapparaissent les radiations qui viennent impressionner le gélatino-bromure d'argent, j'espérais pouvoir constater cette réapparition à l'œil nu, sans le secours de la photographie, en me servant d'un oculaire

fluorescent, suivant le procédé imaginé par MM. Baille et Soret; à la suite de nombreuses tentatives restées infructueuses, je suis arrivé à voir cette troisième bande *avec un spectroscope ordinaire et sans faire intervenir la fluorescence*, en employant un artifice, utilisé autrefois par M. Potier pour l'étude du spectre ultra-violet. Ce procédé consiste : 1° à avoir une source de lumière aussi intense et aussi riche que possible en radiations violettes ; 2° à supprimer le plus possible toutes les couleurs moins réfrangibles et plus lumineuses (rouge orangé, vert et bleu) par l'interposition sur le trajet du faisceau lumineux d'un verre violet très pur et très foncé. On prolonge de cette façon d'une manière très notable la partie visible du spectre violet; la sensibilité de l'œil n'est pas atténuée par la vue des autres couleurs, et on élimine de plus toute lumière diffuse étrangère.

Comme source de lumière j'emploie un arc voltaïque puissant (de 20 ampères environ). L'image du *charbon positif* est projetée sur la fente du spectroscope par une lentille à court foyer et à grande surface (10 centimètres de foyer et 10 centimètres de diamètre). On a ainsi une image très petite mais extrêmement brillante, et en interposant le verre violet on a un spectre qui se prolonge très loin. Si à ce moment on interpose la solution d'hémoglobine, on voit la troisième bande se détacher avec la plus grande netteté sur la plage violette qu'on a sous les yeux. Mais, je le répète, pour obtenir ce résultat, il faut un éclairage extrêmement puissant. La lumière Drumond ne donne rien de semblable.

N° 34. — *Spectrophotomètre différentiel sans polarisation.*

(Biologie, 18 mai 1889.)

Si on examine, au spectroscope, un faisceau de lumière blanche ayant traversé une solution colorée, on reconnaît que la lumière a subi une diminution très inégale dans les différentes régions du spectre. En déterminant, pour certains points, la valeur de cette absorption, on caractérise absolument cette substance au point de pouvoir, non seulement reconnaître sa présence, mais de plus la *doser* rigoureusement, même dans un mélange de matières colorantes.

Ce remarquable procédé optique d'analyse chimique a été introduit en physiologie par Vierordt.

Pour mesurer ce *coefficient d'absorption* qui caractérise un corps donné, Vierordt a apporté au spectroscope ordinaire deux modifications très simples : 1° l'oculaire est muni de volets mobiles qui permettent d'isoler dans le spectre la partie qu'on veut examiner; 2° la fente du collimateur est divisée, suivant sa hauteur, en deux moitiés superposées, dont on peut faire varier isolément la largeur de quantités qu'on mesure. Cela posé, si on place devant une des moitiés de la fente une solution colorée, on voit, à largeur égale des fentes, deux spectres superposés : le premier, qui provient de la source lumineuse directement, est normal; le second, au contraire, a subi un affaiblissement dans des régions qui varient avec la nature de la substance. Pour mesurer l'absorption dans une région donnée du spectre il suffit de rétrécir la fente du spectre normal jusqu'à ce que cette région présente la même intensité dans les deux spectres. Comme l'intensité lumineuse en chaque région du spectre est proportionnelle à la largeur de la fente, on voit que la mesure cherchée est donnée par le rapport des largeurs des deux fentes.

Le spectrophotomètre de Vierordt est d'une grande simplicité, mais il présente deux inconvénients : 1° le rétrécissement de la fente non seulement diminue l'intensité lumineuse, mais altère en même temps le ton de la couleur; 2° la largeur des fentes étant toujours très petite, il est presque impossible, *en pratique*, d'en avoir une mesure rigoureuse, au dire des constructeurs les plus habiles.

La lumière polarisée se prêtant à une extinction graduelle, dont la loi est connue, on a utilisé cette propriété, déjà signalée par Govi, pour modifier l'appareil primitif de Vierordt.

Si l'emploi de la lumière polarisée pare aux causes d'erreur de l'appareil de Vierordt, il fait naître des inconvénients d'un autre genre. — Les spectrophotomètres à polarisation sont de deux espèces : dans les uns les deux spectres sont amenés au contact, comme dans l'appareil de Vierordt, le procédé d'extinction étant seul différent; tels sont les spectrophotomètres de Crova et de Gouy. La graduation varie comme le cosinus carré de l'angle de rotation du nicol. Dans le second système au contraire les deux spectres sont polarisés à angle droit, superposés, et donnent naissance à des franges qui disparaissent quand on a amené l'égalité de teinte. Tels sont les spectrophotomètres de Branly, de Trannin, de Violle, etc. Dans ce second système, la graduation varie comme la tangente carrée de l'angle de rotation du nicol.

Tous les spectrophotomètres à franges sont très compliqués, très coûteux, difficiles à régler, et, enfin, ils ne peuvent être employés que *pour comparer des lumières très intenses;* car ils absorbent 75 p. 100 de la lumière. Leur usage est donc loin d'être commode, et surtout pratique, pour les recherches physiologiques.

Quant aux spectrophotomètres de la première catégorie, ils pré-

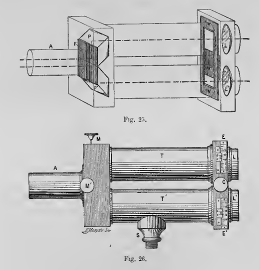


Fig. 25.

Fig. 26.

sentent d'autres inconvénients. C'est après avoir pris connaissance de toutes ces raisons *pratiques* que je me suis décidé à faire construire l'appareil suivant, qui a le triple avantage : 1° d'être *différentiel* et de ne nécessiter par suite ni réglage, ni détermination préalable d'aucune constante; 2° de fonctionner sans polarisation, comme l'instrument de Vierordt; 3° enfin de pouvoir s'adapter à tous les spectroscopes de façon à les transformer en spectrophotomètres.

La partie spectrophotométrique proprement dite se compose (fig. 25).

de deux tubes parallèles superposés T, T', réunis à leur partie antérieure par une boîte métallique B, dans laquelle joue, au moyen d'un bouton à crémaillère C, un système de deux volets mobiles V, V' V'', qui limitent deux ouvertures rectangulaires de largeur variable, dont les centres coïncident toujours avec l'axe des tubes T, T'.

En face de chaque tube, de l'autre côté des volets mobiles, se trouvent deux lentilles achromatiques semblables L, L'. En face de la lentille inférieure L' se place la cuve transparente K, contenant la solution colorée qu'on veut analyser. Les tubes T, T' sont réunis à leur extrémité postérieure par une boîte B' qui porte deux parallélipipèdes transparents P, P', réunis suivant une de leurs arêtes. Perpendiculairement à cette arête commune se trouve la fente du spectroscope F, coïncidant avec le diamètre vertical du tube A. Cette fente est à lèvres mobiles et peut être rétrécie à volonté, grâce au bouton moleté M'. Un second bouton moleté M permet d'amener l'arête commune aux parallélipipèdes P, P', à couper la fente F du spectroscope en deux parties d'égale hauteur. Le bouton moleté C, qui fait mouvoir les volets mobiles V, V', V'', porte une double échelle micrométrique E, E', qui donne, par une simple lecture, *le rapport des surfaces* que les volets découvrent respectivement sur les lentilles L et L', c'est-à-dire le *rapport des quantités de lumière* qui traversent à chaque instant respectivement chacun des tubes T et T'. Tout le système se fixe sur un pied à trois branches qui vient se visser en S.

Cela posé, supposons qu'on adapte en A un spectroscope quelconque (fig. 27), après en avoir enlevé la fente, qui se trouvera remplacée par la fente F, et dirigeons les lentilles L, L', vers une surface uniformément éclairée, une feuille de papier blanc J, par exemple. Le fonctionnement de l'appareil est des plus faciles à comprendre. La moitié supérieure de la fente F sera éclairée par la lentille L, le faisceau lumineux ayant subi une double réflexion dans le prisme P ; il en sera de même pour la moitié inférieure de la fente qui recevra sa lumière de la lentille L', grâce au prisme P'. La fente F se trouve à peu près au foyer principal des lentilles L, L'. Si le volet V est au milieu de sa course, les lentilles L et L' sont également découvertes, elles laissent passer la même quantité de lumière, et, comme tout est symétrique dans l'appareil, on obtient deux spectres également éclairés. Si l'on interpose alors en L' la solution colorée, on éteint certaines radiations

dans le spectre inférieur. Pour ramener l'égalité dans les deux spectres, pour ces plages, il suffit de rétrécir l'ouverture de la lentille L et d'augmenter de la même quantité celle de la lentille L', ce qui se fait en tournant simplement le bouton C. Le *rapport* des intensités lumineuses de la partie analysée est donnée *directement* et sans calcul par les échelles E, E'. On voit que la partie capitale de cet instrument consiste en un double photomètre à lentilles, que j'ai rendu différentiel et adapté en avant de la fente du spectroscope ordinaire. Le photomètre est basé sur cette propriété des lentilles, signalée pour la première fois

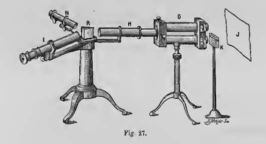


Fig 27.

par Bouguer, à savoir : que l'image focale est, comme forme, indépendante de la grandeur et de la forme de l'ouverture de la lentille, et, *comme éclat*, *proportionnelle à la surface de cette ouverture*. M. Charpentier (de Nancy) a inventé, en 1877, un photomètre physiologique basé sur ce principe, que M. Cornu a appliqué, de son côté, en 1881, à la construction de plusieurs modèles de photomètres. Au cours de son étude, M. Cornu signale la possibilité d'appliquer ce genre de photomètre au spectroscope, mais le dispositif qu'il propose, et que je n'ai connu que plus tard, ne donnerait aucun résultat pour le but que nous poursuivons ici, car il demande l'emploi de deux lumières. De plus, l'instrument n'est pas différentiel et nécessiterait un réglage, la détermination du zéro et de constantes comme les spectrophotomètres à polarisation.

La figure 27 représente mon appareil, adapté à un spectroscope ordinaire à trois branches, modèle Duboscq. Pour la physiologie, je préfère

ce modèle avec un prisme de grande dispersion au spectroscope à vision directe. Avec le dispositif figuré ici, les manipulations sont extrêmement faciles, car, sans quitter de l'œil la lunette, on peut manœuvrer le bouton de correction C, lire le chiffre obtenu sur l'échelle E, E', déplacer le double parallélipipède au moyen du bouton M', et enfin manœuvrer la cuve d'absorption. On obtient de la sorte deux spectres superposés parfaitement au contact.

L'instrument étant symétrique dans toutes ses parties, il n'y a pas de constantes à déterminer. Cet appareil peut servir également à la détermination différentielle de deux sources de lumière, ou à comparer le pouvoir absorbant ou la richesse de deux solutions d'une même substance, etc. De plus, grâce aux lentilles L, L', qui concentrent la lumière sur la fente, il suffit d'un éclairage très faible, et on peut donner à la fente une toute petite ouverture, ce qui permet, on le comprend, d'obtenir des spectres d'une extrême pureté.

N° 35. — *Nouvelle lumière à incandescence par le gaz. — Application à l'examen microscopique, à l'analyse spectrale et à la photographie.*

(Biologie, 18 février 1888.)

J'ai étudié, à ce triple point de vue, le nouveau brûleur dû à M. Aüer, de Vienne, pour l'éclairage au gaz. La lumière obtenue est absolument fixe, analogue à la lumière oxhydrique de Drummond. Des expériences, contrôlées par MM. Malassez et Hénocque, m'ont prouvé l'excellence de ce mode d'éclairage pour l'examen au microscope et à l'hémato-spectroscope. Cette source lumineuse est très photogénique et commode pour l'analyse spectrale et toutes les expériences d'optique.

SECTION IV

RESPIRATION. — TOXINES PULMONAIRES

N° 36. — *Recherches théoriques et expérimentales sur le rôle de l'élasticité pulmonaire.*

(Thèse pour le doctorat soutenue le 6 août 1877 et récompensée par la Faculté de Médecine de Paris.)

Dans ce travail, j'arrive aux conclusions suivantes qui reposent sur des bases exclusivement expérimentales :

1° La rétractilité du poumon tient à deux causes : aux fibres élastiques de l'organe et à la tonicité de ses fibres musculaires.

2° Cette élasticité fait jouer au poumon le rôle d'un ressort antagoniste qui soulève le diaphragme et dilate les oreillettes qui peuvent ainsi exercer une succion lors de leur diastole ; le cœur est donc bien une pompe aspirante et foulante.

3° Cette élasticité offrant une résistance à l'entraînement du diaphragme, crée autour du poumon une diminution de pression qui constitue le vide pleural.

4° *Cette diminution de pression maintient dilatés les vaisseaux pulmonaires*, par aspiration excentrique de leurs parois qui sont toujours écartées.

5° *Cette perméabilité est proportionnelle au vide pleural.*

6° *Le vide pleural et, par conséquent, la capacité sanguine du poumon est maximum à la fin de l'aspiration.*

7° L'aspiration thoracique tient surtout à l'augmentation de volume des vaisseaux pulmonaires lors de l'inspiration.

8° Cette augmentation peut être assez grande pour empêcher, à ce moment, l'oreillette gauche de se remplir, d'où résulte une intermittence du pouls.

9° La rétractilité du poumon est en grande partie sous l'influence des pneumogastriques qui animent ses fibres musculaires;

10° La section de ces nerfs entraîne toutes les conséquences dues à la diminution du vide pleural et à la dilatation paralytique des canalicules respirateurs.

N° 37. — *Recherches sur l'importance, surtout pour les phtisiques, d'un air non vicié par les exhalaisons pulmonaires.*

En commun avec M. Brown-Séquard.
(Académie des Sciences, 28 novembre 1887.)

Dans cette note, nous établissons l'influence néfaste de l'air confiné, contenant des émanations du poumon. Nous montrons, de plus, qu'un air pur a une grande puissance, non seulement pour empêcher, mais même pour guérir la phtisie pulmonaire.

Enfin, nous présentons un appareil très simple répondant au double besoin de l'expulsion totale de l'air expiré et de l'entrée d'air pur dans une chambre à coucher.

Cet appareil (fig. 28) se compose essentiellement d'une hotte H qui se place au-dessus de la tête de la personne couchée ou assise. Cette hotte est supportée, à son sommet, par un tube métallique deux fois coudé qui peut glisser le long d'un pied P, pour en faire varier la hauteur.

Ce tuyau métallique est relié à un tube souple, fait en étoffe imperméable, et le calibre en est maintenu béant par une hélice métallique intérieure. Ce tube souple aboutit à un petit fourneau dans lequel brûle un bec de gaz ou des veilleuses, suivant les cas. Ce fourneau se place dans la cheminée ou dans tout autre lieu communiquant avec l'extérieur. On détermine ainsi un appel d'air constant sous la hotte, et les gaz provenant de la respiration se trouvent constamment rejetés au dehors sans pouvoir se mélanger à l'air inspiré.

Cet appareil, malgré sa simplicité, est d'une efficacité absolue. Il a l'avantage de pouvoir s'installer partout sans nécessiter aucun change-

ment aux installations déjà existantes. De plus, il peut servir dans un grand nombre de maladies, surtout dans les affections fébriles où l'aéra-

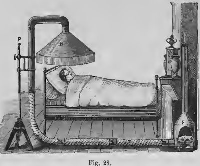


Fig. 28.

tion d'une chambre par l'ouverture des fenêtres pourrait être dangereuse. Il reçoit des modifications qui n'en changent pas, d'ailleurs, le principe, pour s'adapter aux lits d'hôpitaux, de dortoirs, etc...

N° 38. — *Recherches démontrant que l'air expiré par l'homme et les mammifères, à l'état de santé, contient un agent toxique très puissant.*

En commun avec M. Brown-Séquard.

(Biologie, 24 décembre 1887. — Académie des Sciences, 9 janvier 1888.)

Après avoir condensé, dans un vase refroidi, la vapeur pulmonaire, nous avons injecté le liquide de condensation dans les veines du lapin, et nous avons vu l'animal périr de cette injection en présentant des symptômes spéciaux. Nos expériences nous amènent à formuler les conclusions suivantes :

1° Les poumons de l'homme, du chien et du lapin, à l'état de santé, produisent un poison extrêmement énergique, et qui en sort sans cesse avec l'air expiré;

2° Il est extrêmement probable, sinon certain, que c'est cet agent toxique qui rend si dangereux l'air confiné.

N° 39. — *Nouvelles recherches sur les phénomènes produits par un agent toxique très puissant qui sort sans cesse des poumons de l'homme et des mammifères avec l'air expiré.*

En commun avec M. Brown-Séquard.

(Biologie, 14 janvier, et Académie des Sciences, 16 janvier 1888.)

Dans cette seconde communication, nous montrons :

1° Que ce poison pulmonaire, injecté sous la peau, est tout aussi actif qu'injecté dans le sang;

2° Que l'ébullition en vase clos ne le détruit pas;

3° Que ce poison est un alcaloïde organique analogue aux leucomaïnes, et non un microbe.

N° 40. — *Recherches nouvelles démontrant que la toxicité de l'air expiré dépend d'un poison provenant des poumons et non de l'acide carbonique,*

par MM. Brown-Séquard et d'Arsonval.

M. Brown-Séquard et moi avons fait à la Société de biologie[1] et à l'Académie des sciences[2] une série de communications ayant pour objet de démontrer que chez l'homme et chez les différents mammifères, étudiés jusqu'ici à ce point de vue, les poumons donnent origine à un agent organique toxique, mais dont la virulence, ou plutôt seulement la quantité, varie considérablement.

Nous avons à cet égard donné deux espèces de preuves, dont la première nous a valu de flagrantes contradictions de la part de plusieurs physiologistes qui ont, de bonne foi, fait des expériences qu'ils croyaient, à tort cependant être indentiques aux nôtres, et dont la seconde, bien plus décisive que la précédente, n'a été répétée que par trois physiologistes ; l'un desquels a obtenu les mêmes résultats que nous, tandis que les deux autres sont restés dans le doute.

1. *Comptes rendus de la Soc. de Biol.*, 1887, p. 819; 1888, p. 33, 54, 98, 99, 108, 110, 151, 172.

2. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. CV, 28 novembre 1887; t. CVI, 9 et 16 janvier 1888; t. CVIII, 11 février et 24 juin 1889.

I. — Nous avons montré à l'aide des faits accumulés par Hirsch, auxquels nous aurions pu ajouter ceux rapportés par M. Lagneau, que l'air confiné est un agent d'intoxication des plus puissants, à tel point que, d'après une statistique de W. Baly, la mortalité, par tuberculose, dans une grande prison anglaise (Milbank) est de quatre fois et un tiers celle de la population libre qui l'environne. L'un de nous (M. Brown-Séquard) a montré que chez les cobayes surtout, la vie en plein air, sous un hangar leur faisant éviter de respirer l'air sortant de leurs poumons, les met entièrement à l'abri de la tuberculose produite si aisément chez des animaux vivant dans l'air confiné d'un laboratoire, après l'inoculation sous-cutanée de matières tuberculeuses[1].

Après les faits si décisifs relatifs à l'action meurtrière de l'air confiné et à l'action si bienfaisante de l'air pur, la question n'était plus de savoir si l'air sortant des poumons est nuisible, mais il restait à savoir quel est dans l'air expiré l'argent délétère. Est-ce l'acide carbonique ? est-ce autre chose ?

Notre première série d'expériences se compose de recherches variées dont voici la brève indication : 1° De l'eau parfaitement pure injectée dans les voies pulmonaires d'un chien ou d'un lapin et en partie retirée après un temps très court a été filtrée, puis injectée dans un vaisseau sanguin (artère ou veine) ; 2° Nous avons fait condenser les vapeurs pulmonaires exhalées par l'un de nous ou par l'un de nos élèves ; 3° Nous avons agi de même avec les exhalations pulmonaires de chiens sortant d'un tube fixé dans leur trachée ; 4° A l'aide d'un appareil spécial (Voy. fig. 30) incapable de troubler la respiration, nous avons recueilli le liquide de condensation de vapeurs pulmonaires sortant des narines d'un chien ou d'un homme en bonne santé[2]. Dans ces trois derniers cas le liquide a été injecté tantôt dans le sang, tantôt sous la peau.

1. Voyez notre travail dans les *Comptes rendus de l'Acad. des sciences* (t. CV, 28 novembre 1887), où nous avons rapporté des cas de guérison de tuberculose, même avec larges cavernes, chez l'homme, sous l'influence du simple fait d'éviter le poison de l'air confiné, en vivant *nuit et jour à l'air libre*. Depuis cette époque, d'autres résultats semblables ont été obtenus dans trois cas, à notre connaissance. — Grâce à la bienveillance d'un médecin très distingué, le Dr Dieulafoy, nous avons pu faire dans son service d'hôpital des expériences contrôlées avec soin par le Dr Widal, et qui ont bien montré combien est puissante la soustraction complète de l'air expiré. Pour maintenir en vie des phtisiques presque mourants, on retirait de la chambre où ils passaient la nuit l'air expiré par eux. Ceci s'opérait sous l'influence d'un très simple appareil organisé par l'un de nous (M. d'Arsonval).

2. Le liquide obtenu par ce procédé est clair, limpide et neutre.

Il importe que nous disions que la toxicité des trois derniers liquides ne peut pas être attribuée à des microbes, car nous les avons trouvés tout aussi meurtriers après les avoir soumis à une température de

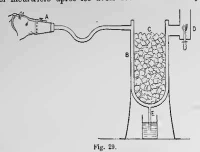


Fig. 29.

A, muselière percée de trous;
B, vase en U contenant de la glace en C;
D, bec de gaz faisant passer, par appel, un courant d'air continu dans la muselière A;
E, tube recueillant la vapeur pulmonaire condensée.

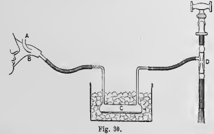


Fig. 30.

B, masque portant un tube extérieur A;
D, trombe aspirant l'air venant du masque A;
C, réservoir en verre, plongé dans la glace, et où se condense la vapeur pulmonaire.

100 degrés, en vase clos, que lorsqu'ils n'avaient pas subi cette influence calorifique.

Nous ne pouvons pas comprendre comment presque tous les expérimentateurs qui ont, comme nous, fait des injections, dans le sang ou

sous la peau, du liquide de condensation des exhalations pulmonaires, n'ont pas trouvé, comme nous, que la mort survient presque toujours chez l'animal injecté, et qu'elle est constamment précédée d'une série spéciale de symptômes caractérisant une espèce particulière d'empoisonnement, symptômes ne ressemblant en rien à ceux de la septicémie ou à ceux d'une obturation de circulation par coagulation sanguine dans le cerveau ou les poumons. Les lésions constatées à l'autopsie ont aussi montré une similarité très grande dans l'immense majorité des cas. Il en avait été ainsi déjà dans le cas des expériences dont nous avons publié les résultats. Il en a été de même dans le cas des expériences faites depuis nos dernières publications. Le nombre total d'animaux soumis à nos recherches à ce sujet dépasse soixante-dix.

II. — Quoi qu'il en soit des résultats obtenus par les diverses espèces d'expériences dont nous venons de parler, aucune critique ne peut atteindre la nouvelle série d'expériences commencées par nous en mars 1888 et qui ont été répétées plusieurs fois chaque année depuis lors. Nos expériences appartenant à cette nouvelle série avaient déjà, en juin 1890, été faites sur plus de 100 animaux (voy. *Archives de physiol.*, 1890, p. 680, notes), chiffre qui maintenant a dépassé 140. Elles ont été faites surtout sur des lapins, mais aussi sur nombre de cobayes.

Nous avons cherché dans cette nouvelle série de recherches à nous assurer de ce qui arrive à des animaux recevant de l'air expiré contenant le poison pulmonaire, mêlé à de l'air atmosphérique pur. Pour cela, nous avons employé un appareil qui, après nous avoir bien montré la puissance toxique de l'air expiré, nous a permis, à l'aide de quelques additions, de démontrer d'une manière positive que l'acide carbonique de ce mélange gazeux ne participe en rien à sa toxicité.

Cet appareil, imaginé par M. d'Arsonval (fig. 31), se compose d'une série de vases métalliques dont la cavité est complètement isolée de l'air ambiant par des fermetures hydrauliques. Une trompe aspirante, reliée à un compteur à gaz, fait passer un courant d'air continu à travers la série de ces vases ou étuves, qui sont reliés l'un à l'autre, de telle sorte que ce courant d'air les parcourt successivement. Cette trompe a été remplacée depuis par un compteur à gaz, à mouvement forcé, formant ventilateur hydraulique. Il en résulte qu'un animal placé dans l'étuve

par laquelle entre l'air extérieur respire de l'air pur, alors que les animaux, soumis à l'expérience dans les autres étuves, respirent de l'air de plus en plus vicié.

Il va sans dire que le dernier animal, c'est-à-dire celui dont l'étuve avoisine le plus la trompe aspirante, respire l'air ayant passé par les précédentes étuves et que celui de la deuxième étuve ne respire que l'air de la première.

Les étuves sont faites de telle sorte que les excréments, tant solides

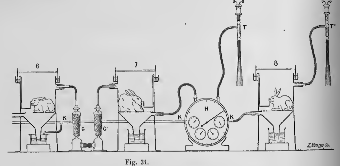


Fig. 31.

T, trompe aspirant un courant d'air qui passe à travers la série des étuves de 1 à 7;
H, compteur à gaz indiquant le volume d'air appelé;
G, G', appareil absorbeur à acide sulfurique;
8, étuve séparée, ventilée par la trompe T', l'animal placé dans cette étuve respire l'air ayant passé sur les matières fécales contenues dans les vases D, à l'aide des tubes F et K, K.

que liquides, expulsés par les animaux, ne peuvent y séjourner. L'étuve se compose d'un cylindre vertical en tôle galvanisée, assez large et assez haut pour donner ample place à un très gros lapin, qui s'y tient sur un treillis en fil métallique. Le cylindre se termine à sa partie inférieure, au niveau de ce treillis, par un cône muni d'une large tubulure formant entonnoir. Cette tubulure pénètre dans de l'eau contenue dans un vase en verre qui reçoit les déjections de l'animal et les débris des aliments qui ont été mis dans l'étuve. L'eau ferme hermétiquement l'ouverture de la tubulure qui y plonge. La partie supérieure de l'étuve porte une rainure circulaire pleine d'eau, dans laquelle plonge le couvercle formé

d'un disque de verre enchâssé dans un cercle métallique. Là aussi, comme à sa partie inférieure, l'étuve est hermétiquement close.

De jeunes lapins de cinq à sept semaines, mis dans huit vases de cette sorte, y sont morts très rapidement, excepté ceux qui étaient dans le premier et le second, en appelant *premier* le vase par lequel l'air entre dans l'appareil. La mort a eu lieu quelquefois pour le lapin des deux derniers vases, et même pour celui du sixième, au bout de deux ou trois jours. Quelques lapins ont cependant résisté quatre, cinq ou six jours dans les deux dernières étuves. Bien qu'un peu plus tardive, en général, la mort a eu lieu en une semaine dans le quatrième vase, et à peine quelques jours plus tard dans le troisième. Les lapins des cages 1 et 2 ont survécu très longtemps et ne sont morts que par suite d'un accident, le second animal montrant cependant que sa santé était alors très altérée.

Lorsqu'on retirait un lapin mourant de l'une des cages 3, 4, 5 ou 6, il revenait, en général, à la vie et même à la santé, mais après un temps assez long (de 5 à 10 ou 12 jours).

La quantité d'acide carbonique, qui était inférieure à 1 p. 100 dans la cage 2, n'a guère été au-dessus de 2 ou 3 p. 100, en général dans les étuves de 6 à 8. Avec une plus grande vitesse du courant d'air, il y a eu parfois encore moins d'acide carbonique dans les dernières cages.

Des expériences faites sur de gros lapins (pesant environ 2,000 gr.) ont donné à peu près les mêmes résultats, excepté que la résistance a été d'une durée beaucoup plus grande, bien que l'altération de l'air ait été plus considérable. Nous avions augmenté du tiers au double la quantité d'air pur fournie dans un temps donné; mais, ces animaux étant trois fois aussi gros que les petits, la proportion d'acide carbonique dans la cage 6 (qui alors était la dernière) était de 4 à 6 p. 100. Il était donc essentiel de s'assurer si cet acide ne contribuait pas à déterminer la mort.

Il était impossible de se servir d'alcalis pour faire absorber l'acide carbonique parce qu'ils détruisent le poison pulmonaire. Aussi avons-nous dû agir autrement. Pour atteindre notre but, nous avons employé un moyen très simple, qui a consisté à ajouter à notre appareil deux autres étuves semblables aux précédentes, mais séparées des six premières par deux cylindres en verre remplis de perles aussi en verre, imprégnées d'acide sulfurique concentré. L'air sortant de la cage 6 passe

dans l'intérieur de ces cylindres et, après avoir été soumis à l'influence de l'acide sulfurique, se rend dans l'une des cages additionnelles et de là dans l'autre, d'où il sort attiré par la trompe aspirante. Or, l'acide sulfurique s'empare du poison pulmonaire et des substances organiques (quelles qu'elles soient) qui proviennent des six premières cages, tandis que l'acide carbonique passe librement. L'air arrivant dans les deux nouvelles étuves est donc de l'air privé du poison pulmonaire, mais chargé d'acide carbonique. Or, cet air ne tue pas et nous avons ainsi une preuve nouvelle, à la fois, de l'innocuité de l'acide carbonique et de la toxicité des exhalations pulmonaires.

Les phénomènes qu'on observe chez les lapins ayant reçu une injection du liquide de condensation des vapeurs exhalées par les poumons, dans le système circulatoire ou sous la peau et chez ceux qui ont occupé les cinq dernières étuves dans l'expérience que nous venons de décrire, sont essentiellement les mêmes, à part l'existence de convulsions dans un certain nombre de cas de mort par une injection de liquide provenant de l'air expiré et l'absence de ces phénomènes chez les animaux mourant dans les étuves.

La similarité des symptômes et des états morbides constatés après la mort surtout dans les poumons, chez les animaux de ces trois groupes, fait bien voir que c'est à un poison provenant des poumons qu'est due la mort.

III. — Depuis l'apparition de nos diverses notes sur le poison de l'air expiré, Sigmund Merkel[1] a publié d'intéressantes expériences faites sur des souris qui, malheureusement, n'ont pas été assez nombreuses.

Voici la description de son appareil et de ses expériences. Quatre vases en verre hermétiquement clos, d'une capacité d'un litre et demi, étaient réunis au moyen de tubes en verre, et chacun des vases contenait une souris. Entre le troisième et le quatrième vase était interposé un tube de Geissler à absorption, contenant de l'acide sulfurique. A l'aide d'un aspirateur on faisait passer de l'air à travers les quatre vases, la seconde souris respirant l'air venant du premier vase, le troisième l'air des deux premiers vases, etc. En parfaite harmonie avec ce qui a eu

1. *Archiv für hygiene*, 1892, t. XV, p. 1.

lieu dans nos expériences, la troisième souris est morte la première, après seize et vingt heures, tandis que celle du quatrième vase survivait.

Merkel tire de son expérience la même conclusion que nous : il dit que si la quatrième souris survivait, c'est que la mort de la troisième en dépendait pas d'un excès d'acide carbonique ou d'une insuffisance d'oxygène dans l'air, mais de la présence d'une substance volatile qui est absorbée par l'acide sulfurique. La proportion de l'acide carbonique dans l'air du dernier vase n'était pas toxique ; elle a, au maximum, été de 1.5 p. 100.

MM. J. Haldane et J. Lorrain Smith[2] ont répété l'expérience de Merkel en employant cinq vases au lieu de quatre et d'une capacité d'un litre un dixième et demi. Ils ont fait trois séries d'expériences, la première ne pouvant guère compter puisque la dernière des cinq souris recevait l'air venant des premiers vases n'ayant pas été soumis à l'absorption du poison pulmonaire. Tous ces animaux, après trois jours, étaient en parfaite santé. Nous n'en sommes aucunement surpris, parce que nos lapins et cobayes sont très souvent restés bien plus longtemps, dans nos étuves, sans paraître souffrir beaucoup.

Dans une seconde expérience, les auteurs avaient placé de l'acide sulfurique entre le quatrième et le cinquième vase. Au bout de trente heures les cinq animaux semblaient être en parfaite santé, bien que la proportion d'acide carbonique dans l'air respiré par la cinquième souris ait éte en moyenne d'environ 5.7 p. 100 (de 5 à 6.6 p. 100). L'expérience n'a pas d'autre valeur que celle-ci : elle démontre que l'acide carbonique n'est pas toxique pour les souris, à la proportion de plus de 5 p. 100 dans l'air qu'elles respirent.

La troisième expérience, qui n'a pas la moindre signification, quant à la toxicité de l'air expiré, puisque les souris n'ont été dans les cages que cinq heures et dix minutes, prouve seulement qu'une souris a eu des symptômes d'asphyxie après avoir été exposée pendant cinq heures à un air chargé d'acide carbonique dans une proportion croissant de 6.6 à 10.2 p. 100.

Ces expériences n'ont rien à faire dans la question de savoir s'il existe ou non dans l'air expiré un poison capable d'agir lentement et de détruire la vie de lapins et de cobayes au bout d'un nombre de jours

2. *The Journal of Pathology and Bacteriology*, t. I, n° 3, Febr. 1893, p. 319.

considérable et quelquefois seulement après un mois ou bien plus, alors que la quantité d'acide carbonique n'atteint jamais une proportion dangereuse.

Nous avons au laboratoire un lapin témoin qui, depuis deux ans, a passé (par périodes variables de dix jours à près de trois mois) au moins quinze mois dans l'étuve recevant l'air ayant été soumis à de l'acide sulfurique après avoir servi à la respiration de six autres lapins ou de douze à quinze cobayes. L'état de santé de cet animal est vraiment remarquable; sa vigueur est exceptionnelle; il a gagné en poids plus de 1 kilogramme et demi et pèse maintenant près de 4 kilogrammes.

L'expérience de Merkel a pour nous de la valeur, parce que nous avons deux fois vu mourir des lapins qui n'avaient été soumis que cinq ou six heures à l'empoisonnement par l'air sortant des poumons de trois ou quatre autres. Il est bien certain que ces lapins, de même que les souris de Merkel, n'ont pas été empoisonnés par l'acide carbonique.

Nos habiles contradicteurs anglais, MM. G. Haldane et J. Lorrain Smith nous demandent à la fin de leur mémoire (*loc. cit.*, p. 321), de leur donner quelques détails de nos expériences. Nous ne savons pas en quoi des détails autres que ceux qui précèdent et que nous avions déjà en partie publiés peuvent être nécessaires. Mais pour satisfaire nos lecteurs qui pourraient aussi désirer d'autres détails, nous prenons, presque sans choisir, dans nos notes d'expériences, les faits que nous allons exposer.

Expériences. — Voici d'abord quelques faits montrant la rapidité de la mort. Le 4 février 1889, des lapins de 13 à 1,600 grammes sont mis dans les huit étuves, dont les deux dernières reçoivent l'air expiré par les six animaux des précédentes étuves, après son passage sur de l'acide sulfurique, la quantité d'air passant par heure dans l'appareil étant de 240 litres. Le 9 février le n° 4, et le 17 le n° 5 sont morts après avoir eu les symptômes ordinaires et l'autopsie a montré les lésions ordinaires. Une interruption inévitable ayant eu lieu du 24 février au 2 mars, tous les animaux survivants sont soumis de nouveau à l'expérience et ceux qui étaient morts dans les étuves 4 et 5 sont remplacés, celui de l'étuve 4 par quatre cobayes âgés de cinq à six semaines et celui de l'étuve 5 par un lapin de 750 grammes. — Le 10 mars, deux des cobayes du n° 4 sont morts et le 12 mars un des deux autres est mort et le quatrième, retiré de l'étuve mourant, a succombé à l'air libre six heures

après. La survie de deux de ces cobayes a été de six jours, celle des deux autres de huit jours. Il y avait eu arrêt des échanges et diarrhée chez tous et les lésions étaient celles que nous avons décrites. — Le 25 mars, six des huit lapins paraissent en bonne santé; ceux des étuves 4 et 4 sont malades, ayant surtout la respiration très lente et difficile; mais le 5 avril, les lapins n°s 2 et 3, qui n'avaient montré de symptômes qu'après ceux des étuves 4 et 6, sont trouvés morts. Ils avaient eu les symptômes ordinaires et les lésions étaient aussi celles qui ont été décrites. Le 9 avril, une analyse de l'air des étuves 2, 4, 6 et 8 a été faite. Dans 2, il y avait 1,25 0/0, dans 4, 2,5 0/0, dans 6, 3,2 0/0 et dans 8, 4,3 0/0 de $C O^2$. — Le 30 avril, le lapin n° 5 est mort après symptômes et avec lésions ordinaires, après une survie de 60 jours. — Le 6 mai, un jeune lapin remplaçant celui de l'étuve 3, mort le 5 avril, est mort, ayant eu aussi symptômes et lésions ordinaires et une survie de 31 jours. — Le 23 mai, un lapin mis après la mort des cobayes, le 12 mars, dans la cage 4 est mort : symptômes et lésions ordinaires, survie, 72 jours. Ce jour-là, on trouve mort dans l'étuve n° 5, un jeune lapin qu'on y avait mis le 30 avril pour remplacer celui qui y était mort; il a succombé après 23 jours et avec les conséquences ordinaires. — L'expérience arrêtée ce jour-là a montré le n° 6 très malade, presque paralysé du train postérieur et les autres survivants (1, 7, 8) en bonne santé. Trois étaient morts dans l'étuve 5, deux dans chacune des étuves 3 et 5, un dans l'étuve 2. Les quatre cobayes étaient morts.

Nous croyons qu'il est impossible de ne pas conclure des différents faits exposés dans ce travail que les poumons sont un foyer de production d'un poison volatil[1] *et que ce poison est bien plus meurtrier chez*

1. Un physiologiste très distingué ayant émis l'idée que les animaux qui mouraient dans les étuves devaient peut-être leur mort à des émanations venant des matières fécales, de l'urine et des débris d'aliments s'accumulant dans les cristallisoirs en verre placés au bas des étuves, nous avons cru devoir faire l'expérience suivante. Chacun de ces vases a été mis sous un couvercle en zinc, muni d'un rebord plongeant dans le liquide (Voy. *fig.* 31, C, D, ci-dessus), et d'un tube coudé partant du dessus (fig. 31, F). Un trou circulaire est percé au centre du couvercle pour laisser passer librement la douille conique (*fig.* 31, étuve 1. C). Il y a ainsi à chaque étuve un cristallisoir hermétiquement couvert. Chaque tube coudé est relié a une canalisation unique (*fig.* 3, K, K, K), conduisant à la tubulure inférieure d'une étuve n'appartenant pas au système de cages où se trouvent les animaux soumis à l'influence de l'air expiré. Dans cette étuve, séparée des autres, un gros lapin reçoit tout l'air qui a passé sur le liquide contenant les déjections de six autres lapins placés dans les étuves où cinq d'entre eux respirent de l'air expiré. Par une tubulure spéciale, la cage indépendante où l'on expose un lapin aux émanations du liquide chargé de déjections alvines et uri-

certains individus que chez d'autres, les différences à cet égard étant même si grandes que quelques animaux succombent au bout d'un temps très court (moins d'un jour) tandis que d'autres ne meurent qu'au bout d'un ou de deux mois ou même paraissent ne pas devoir succomber, bien que leur santé en souffre. C'est là, du reste, ce qui est connu quant à l'action de l'air confiné chez l'homme [1].

N° 41. — *Procédé pour absorber rapidement l'acide carbonique de la respiration.*

(Biologie, 10 décembre 1887.)

Ce procédé, extrêmement efficace et rapide, consiste à *pulvériser* par un pulvérisateur à air ou à vapeur, une solution de potasse dans un tube que parcourent les produits de l'expiration. Avec une très faible quantité de liquide, la surface d'absorption est rendue énorme et pas un atome de CO^2 ne peut échapper.

N° 42. — *Procédé pour enregistrer les phases du dégagement d'acide carbonique dans la respiration.*

(Biologie, 27 mars 1886.)

L'apparoil que j'ai imaginé pour enregistrer les *phases* du dégagement de CO^2, repose sur le principe suivant :

A travers un tube approprié coule, goutte à goutte, une solution de

naires, communique avec un tube d'aspiration d'une trompe à eau. Cette trompe fait un appel d'air dans la canalisation dont nous avons parlé et par laquelle passe l'air chargé de la totalité des émanations urinaires et fécales de six lapins.

Un gros lapin est resté sans trouble apparent, pendant près de trois mois, dans la cage où arrivait de l'air fortement chargé des émanations que l'on supposait être toxiques. Il est clair, conséquemment, qu'elles ne l'étaient pas et qu'il n'est plus possible de considérer une quantité considérablement plus minime de ces émanations comme contribuant, à un degré quelconque, à causer la mort si rapide des animaux que nous avons soumis à la respiration d'air expiré.

1. Nous n'avons pas besoin de dire que nos expériences démontrent que l'acide carbonique n'ajoute rien à la cause de mort dans nos étuves ; la survie des animaux de la cage 7 suffit à cet égard. Quant au danger de la respiration d'une proportion considérable de ce gaz, nous y reviendrons, nous bornant maintenant à dire que nous avons fait respirer à des lapins sans aucun mauvais effet évident, pendant des journées entières, de 6 à 8 p. 100 d'acide carbonique.

potasse caustique; les gaz de l'expiration circulent en sens inverse dans le tube et abandonnent, dans ce trajet, CO^2, à la solution alcaline.

Au sortir du tube, la solution caustique tombe dans un flacon contenant de l'eau acidulée sulfurique. Au contact de l'acide, le CO^2 se dégage et se rend sous un petit gazomètre enregistreur. Le mouvement de la cloche, sous l'influence du dégagement de CO^2, inscrit donc, d'une manière continue, non seulement le volume total du gaz dégagé, mais aussi *les phases* de ce dégagement.

N° 43. — *Procédé pour enregistrer les phases de l'excrétion de l'urée par le rein.*

(Biologie, 27 mars 1888.)

C'est le même appareil encore plus simple. On place une sonde dans la vessie. Cette sonde laisse écouler l'urine, à mesure qu'elle est sécrétée, dans un flacon contenant une solution d'hypobromite de soude. Le gaz azote, résultant de la décomposition de l'urée, se rend sous le gazomètre inscripteur comme pour l'acide carbonique.

N° 44. — *Durée comparative de la survie chez les grenouilles plongées dans différents gaz et dans le vide.*

(*Archives de Physiologie*, 1889.)

Ces expériences ont porté sur l'acide carbonique, l'hydrogène, l'azote et le vide barométrique. Les faits observés se rapportent exclusivement à la grenouille.

Acide carbonique. — Le gaz employé provenait de l'acide liquéfié, vendu aujourd'hui couramment dans l'industrie et parfaitement exempt de tout acide étranger.

Les grenouilles plongées dans CO^2 pur présentent une première période d'agitation très violente; elles cherchent à s'échapper du vase où on les plonge, se grattent vivement et présentent, en un mot, tous les phénomènes résultant d'une action caustique qui serait généralisée. Cette période dure de 1 à 4 minutes.

L'animal tombe ensuite en résolution, la sensibilité et les mouvements respiratoires disparaissent d'abord, puis, plus tard, les réflexes; le cœur se ralentit et cesse bientôt de battre en s'arrêtant en systole.

En laissant l'animal de 15 à 25 minutes dans le gaz CO^2 pur, la mort est, en général, définitive, et le retour à la vie n'a plus lieu par l'exposition à l'air.

L'acide carbonique dans ce cas tue à la façon d'un excitant violent, irritant tous les nerfs d'arrêt, *par inhibition* en un mot.

La mort n'est pas due à la privation d'oxygène, car elle est survenue également, et presque aussi rapidement, en plongeant les grenouilles dans des mélanges contenant 50 p. 100 et même 75 p. 100 d'oxygène pur.

Hydrogène. — Les animaux plongés dans ce gaz ne présentent aucune période d'excitation. Ils ne sont nullement agités; les mouvements respiratoires se font très régulièrement, et l'asphyxie n'arrive qu'au bout d'un temps variant de deux ou dix heures. Il faut avoir soin que l'hydrogène soit bien exempt de vapeurs acides ou arsenicales. Dans l'hydrogène préparé avec le zinc ou l'acide sulfurique, mes grenouilles succombaient au bout de quelques heures. Il n'en est plus de même en préparant l'hydrogène soit par électrolyse d'une solution de potasse à 30 p. 100, soit à l'aide du sodium décomposant l'eau pure. Le cœur s'arrête après s'être ralenti, mais il s'arrête en diastole et non en systole, comme dans la mort par CO^2.

Azote. — Les expériences faites dans ce gaz sont encore peu nombreuses. Son pouvoir excitant est nul, et la survie m'a paru plus longue que dans l'hydrogène.

Action du vide. — Les expériences faites avec CO^2 contenant 75 p. 100 d'oxygène montraient que, dans ce cas, la mort ne peut pas être attribuée à la privation d'oxygène; j'ai été ainsi amené à penser que la mort dans H et dans Az devrait arriver encore moins vite si on pouvait enlever toute trace de CO^2 à mesure qu'il se produit dans les tissus. L'absorber dans ces gaz au moyen de la potasse est illusoire, car la présence de la potasse dans le gaz ambiant ne peut extraire assez rapidement le CO^2 au sein des tissus. Un seul moyen me parut efficace : plonger l'animal dans le vide absolu. Je me suis servi pour cela d'une machine Carré à faire la glace par évaporation de l'eau dans le vide. Les grenouilles étaient mises avec un peu d'eau dans la carafe reliée à l'appareil à la façon habituelle. J'ai fait ensuite *graduellement* et *lentement* le vide jusqu'à ébullition de l'eau dans la carafe. La pression n'était plus que de 2 millimètres de mercure, et toute trace d'air avait disparu

de la carafe grâce à la chasse produite par la vapeur d'eau. Quelques cristaux de glace commençant à se former dans la carafe, j'ai fermé le robinet de l'appareil. Les grenouilles n'ont manifesté aucune agitation; les mouvements de déglutition, ainsi que ceux des paupières, continuent très régulièrement, et les animaux sont assis sur leur train postérieur, prêts à sauter comme à l'état normal. De temps à autre, on ouvre le robinet et on donne quelques coups de pompe pour extraire le CO^2 ou les autres gaz qui peuvent se dégager. Deux grenouilles, placées dans ces conditions, ne sont mortes qu'après soixante et soixante-seize heures. La survie dans le vide a été plus que quadruple de ce qu'elle est dans le gaz le plus inerte : l'azote.

J'ai répété cette expérience en employant une trompe à eau faisant le vide d'une façon continue et toujours avec le même résultat. Dans ce vide barométrique, tout l'oxygène du sang et des tissus est forcément enlevé, et pourtant des gaz, et notamment de l'acide carbonique, continuent à se faire.

Cette expérience montre bien que la combustion n'est pas directe, mais elle confirme surtout et d'une manière éclatante, en l'opposant à la première avec CO^2, l'opinion soutenue depuis si longtemps par M. Brown-Séquard, à savoir que l'acide carbonique, suivant sa concentration ou sa durée d'action, *dynamogénie* ou au contraire *inhibe* les centres nerveux et la cellule vivante elle-même. Cette expérience montre enfin que l'acide carbonique *tue*, tandis que le vide, c'est-à-dire la privation d'oxygène, pure et simple, *laisse mourir*.

SECTION V

CHALEUR ANIMALE. — CALORIMÉTRIE PHYSIOLOGIQUE ET CLINIQUE. DIVERS

N° 45. — *Insuffisance de la thermométrie pour l'étude de la chaleur animale.*

Depuis l'année 1877, où j'ai communiqué à la Société de Biologie mes premières méthodes de calorimétrie animale, je n'ai cessé d'insister sur l'insuffisance de la *thermométrie* pour résoudre les questions se rapportant à la *thermogenèse*. Le thermomètre, ai-je dit, nous renseigne seulement sur la *qualité* de la chaleur, mais ne peut rien nous apprendre sur sa *quantité*. Ce rôle appartient en entier à la *calorimétrie directe*. J'ai montré de plus, par des expériences décisives, que non seulement les indications du thermomètre sont insuffisantes, mais que la plupart du temps elles conduisent le médecin, comme le physiologiste, à des conclusions radicalement fausses, en ce qui concerne les variations dans la *production* de la chaleur. Chez les êtres vivants le thermomètre nous renseigne exactement sur la *répartition* de la chaleur dans l'organisme, mais le calorimètre seul permet de mesurer les oscillations de sa *production*.

Parmi les nombreux exemples que j'ai donnés de cet antagonisme entre les indications du thermomètre et celles du calorimètre, je rapporterai les suivants comme typiques :

1° Les oiseaux ont une température de 4 à 5 degrés plus élevée que celle des mammifères. On en a conclu que ces derniers faisaient plus de chaleur, à poids égal, que les mammifères de *même taille*.

Cette conclusion est fausse car si, comme je l'ai fait, on place dans un calorimètre, successivement un lapin et une poule de poids égaux, on voit qu'ils produisent sensiblement la même quantité de chaleur. La poule en produirait plutôt moins; la haute température de cet animal doit donc s'expliquer par la conservation plus parfaite de la chaleur produite, grâce au plumage, et non par une production plus grande, contrairement aux conclusioms tirées de la thermométrie[1].

2° Lorsque l'on frotte d'huile de lin un lapin, sa température centrale s'abaisse énormément et l'animal meurt plus ou moins rapidement, avec arrêt des échanges, sa température centrale pouvant passer de + 39° à + 23 ou même + 18° comme je l'ai constaté quelquefois. Ici il y a abaissement à la fois de la température centrale et de la température périphérique. Donc, disait-on, l'animal fait beaucoup moins de chaleur. Cette conclusion est absolument fausse. J'ai prouvé en effet qu'un lapin, frotté d'huile de lin, et placé dans le calorimètre, dégage jusqu'à *quatre fois* plus de chaleur que l'animal normal[2]. Dans ces conditions l'animal se refroidit parce que, malgré la surproduction de chaleur, son pouvoir émissif est devenu tel que la compensation ne peut plus exister, il perd toujours plus qu'il ne gagne. La preuve en est que si on place l'animal dans un milieu chaud, il ne meurt pas, bien que frotté d'huile. Il en est de même pour le lapin à moelle épinière coupée, lapin à sang froid de Claude Bernard, ainsi que je l'ai montré (*Soc. de Biol.*, 1881, p. 207).

3° J'ai montré que pour la peau humaine sa température *superficielle* ne pouvait en rien donner la mesure de la *quantité* de chaleur qu'elle rayonne. Pour cela j'ai mesuré à la fois la température locale de la peau de l'avant-bras, et la chaleur rayonnée par un cercle de 5 centimètres de diamètre de cette peau[3]. Or, à *température superficielle égale*, j'ai obtenu des nombres variant du simple au double. Ce fait ne pouvait s'expliquer qu'en admettant que la sécrétion cutanée modifie le *pouvoir émissif* de la peau. J'ai vérifié cette déduction, en mesurant ce pouvoir au moyen de la pile de Melloni et du galvanomètre. Le pouvoir émissif varie du *simple au triple* en enduisant la peau d'un corps gras, et notamment d'huile de lin. Une conséquence importante à tirer de ce

1. *Travaux de laboratoire de Marey*, année 1878, Paris.
2. *Soc. de biol.*, 1881.
3. *Soc. de biol.*, 1881.

fait, c'est qu'on ne peut pas affirmer qu'il y a hypergenèse thermique alors même que le thermomètre montre chez l'homme une hyperthermie *à la fois centrale et superficielle*, car cette double augmentation peut néanmoins s'accompagner d'une perte moindre (et, par conséquent, d'une production moindre), si le pouvoir émissif de la peau a subi un changement en sens inverse. Cette expérience montre donc, une fois de plus, combien la thermométrie est trompeuse pour constater les variations de la *production* de la chaleur animale.

Cette propriété particulière aux corps gras d'augmenter le pouvoir émissif de la peau dans d'énormes proportions explique très bien pourquoi les athlètes de l'antiquité prenaient le soin de se frotter d'huile avant le combat. Ce n'était pas seulement, comme on l'a dit, pour offrir moins de prise à l'adversaire, mais aussi pour pouvoir perdre plus facilement l'excès de chaleur produit par la contraction musculaire. Ils avaient parfaitement reconnu ce fait empiriquement. Ne serait-ce pas également pour la même cause que les peuplades exposées aux chaleurs des tropiques présentent toutes une sécrétion huileuse de la peau et prennent encore le soin d'exagérer l'épaisseur de cet enduit naturel. Le moyen en tout cas est parfaitement rationnel pour augmenter le rayonnement et pour soustraire aux corps le plus de chaleur possible.

4° Dans des expériences récentes[1], faites avec les toxines microbiennes, nous venons de démontrer, Charrin et moi, que la tuberculine élève la température centrale et abaisse au contraire la production de chaleur. Il en est de même pour certaines toxines sécrétées par le bacille pyocyanique. De telle sorte qu'il y a contradiction entre les indications du thermomètre et celles du calorimètre dans ce cas comme pour les enduits gras, mais cette fois en sens inverse.

De toutes ces expériences que je pourrais multiplier il résulte :

1° Qu'à une température centrale plus élevée peut correspondre une production de chaleur moindre ;

2° Qu'à une hypothermie centrale peut correspondre une hypergenèse thermique ;

3° Qu'à une hypothermie, à la fois centrale et phériphérique, peut correspondre une hypergenèse thermique ;

4° Enfin que dans d'autres cas le thermomètre et le calorimètre peuvent marcher d'accord.

1. D'Arsonval et Charrin. *Soc. de biol.*, 17 février 1894.

N° 46. — *Conditions générales des recherches calorimétriques en Biologie.*

(Travaux du laboratoire de M. Marey, 1878.)

1° *Il faut, avant tout, que l'animal soit dans un milieu dont la température ne change pas pendant l'expérience.*

C'est d'abord le seul moyen d'étudier l'action de la température du milieu ambiant sur la thermogenèse, et de pouvoir, en second lieu, faire des expériences comparatives.

Cette condition est d'une nécessité absolue lorsqu'on veut, comme je l'ai fait, étudier les phénomènes thermiques durant l'incubation des œufs d'oiseau, ou ceux relatifs aux différentes fermentations.

2° *Le milieu gazeux où respire l'animal doit avoir une composition constante*, mais pouvant varier d'une expérience à l'autre.

3° *L'expérience doit pouvoir se poursuivre pendant un temps aussi long qu'on le désire;* on élimine ainsi, soit les causes d'erreur accidentelles, soit les coïncidences heureuses.

4° *On doit avoir la certitude de mesurer toute la chaleur dégagée par l'animal.*

5° *La certitude de ne mesurer qu'elle.*

6° *La possibilité d'enregistrer automatiquement, et sans corrections, les calories dégagées.*

Ai-je besoin de dire qu'aucune des méthodes employées par les physiciens ne réalisait ce programme un peu compliqué.

N° 47. — *Principe général de la méthode.*

(Société de Biologie 1877, 1er décembre.)

Je viens de dire que pour répondre aux exigences physiologiques, le calorimètre où est renfermé l'animal doit rester à une température *sensiblement invariable* et permettre, de plus, de *continuer sans corrections* l'expérience pendant un temps quelconque.

Ces deux conditions dominent la construction de l'appareil.

La présence de l'animal dans son intérieur tend à échauffer le calorimètre, mais cet instrument est construit de telle sorte qu'il *règle automatiquement sa température en agissant sur une source de froid compen-*

satrice qui lui enlève à chaque instant la chaleur cédée par l'animal et en donne la mesure.

Pour éviter les corrections, le calorimètre ne doit *ni céder ni emprunter de calorique au milieu ambiant.* Ce qui revient à dire qu'il doit avoir la même température que lui.

Donc, en plaçant l'instrument dans une enceinte à température constante ayant le même degré que lui, on évite toute correction due au rayonnement.

Comme on le voit, le principe de cette méthode générale de calorimétrie consiste à ramener constamment le calorimètre à *l'état initial* par une source frigorifique, compensatrice et automatique donnant la mesure de la chaleur dégagée.

C'est donc une *méthode calorimétrique par compensation*[1].

Il fallait, avant tout, réaliser une enceinte à température constante.

N° 48. — *Enceinte à température constante.*

(Société de Biologie, 1876, 5 août.)

Les régulateurs de température employés dans les laboratoires en 1875, quand je commençai l'étude de la question, étaient l'appareil de Bunsen ou ses dérivés dont le plus précis était celui de Schlœsing.

Ces instruments consistent essentiellement en un gros thermomètre à mercure dont on utilise la dilatation de différentes manières, pour obstruer plus ou moins le passage du gaz d'éclairage qui sert de combustible.

Pour être sensible, cet appareil doit employer une masse considérable de mercure, mais alors, il devient paresseux ; son principal inconvénient vient de son principe même et est commun à tous les *régulateurs indirects.* Cet inconvénient le voici : pour avoir une enceinte à température uniforme on la constitue par un vase entouré d'eau de tous côtés, cette enveloppe liquide distribue régulièrement la chaleur autour de l'enceinte et, à cause de sa chaleur spécifique élevée, empêche les brusques variations en constituant un véritable *volant de chaleur*, suivant l'expression de Schlœsing.

Le régulateur est plongé d'habitude dans ce volant de chaleur, à la

1. Cette méthode, décrite sous mon nom, a été adoptée par divers physiciens et par moi-même pour déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur. (Voir *Physique de Ganot*, 21e édition, pages 711 et 712.)

façon d'un thermomètre. Par conséquent, l'appareil ne règle la température que pour l'espace fort restreint qu'il occupe. De plus, le foyer chauffe d'abord le matelas liquide, c'est-à-dire, l'enceinte elle-même. Ce n'est qu'après coup que la chaleur se transmet au régulateur, qui est d'autant plus paresseux, que ses parois et son contenu sont moins bons conducteurs de la chaleur et ont une capacité calorifique plus grande.

C'est pourquoi, malgré sa faible dilatation, on prend, de préférence, le mercure qui présente une très faible capacité calorique.

Malgré cette précaution, la température du régulateur est toujours en retard sur celle de l'enceinte; l'appareil présente un *temps perdu* qui le rend infidèle. De plus, le mercure enfermé dans une enveloppe aussi fragile que le verre est toujours, en cas de rupture, un danger pour l'étuve.

J'ai paré à tous ces inconvénients et supprimé complètement l'usage du mercure en inventant la *régulation directe*.

Pour cela, je supprime tout régulateur indirect plongeant dans le matelas liquide environnant l'enceinte; *j'utilise, simplement, la dilatation de ce matelas liquide pour régler le passage du gaz qui se rend au brûleur*.

C'est cet artifice qui constitue l'originalité de mon régulateur et son exquise sensibilité:

On comprend, en effet, que le matelas liquide et le régulateur ne faisant plus qu'un même tout, il ne peut y avoir aucun retard dans la régulation.

L'étuve (fig. 32) se compose :

De deux vases cylindro-coniques, limitant deux cavités; l'une centrale qui est l'étuve, l'autre annulaire pleine d'eau, constituant à la fois le matelas liquide et le régulateur soumis à l'action du foyer.

L'espace annulaire se termine, à la partie inférieure par une membrane souple horizontale 3. Cette membrane constitue, quand l'ouverture 5 est bouchée, la seule portion de paroi qui puisse traduire à l'extérieur les changements de volume du matelas d'eau *en les totalisant*.

Or, le gaz qui doit aller au brûleur 4 est amené par le tube 11 qui débouche normalement au centre de la membrane, et à une faible distance de sa face extérieure. Une fois réglé, il s'échappe de la boîte 10 par les tubes 4.4' constituant les brûleurs. Ces tubes et la membrane constituent, de la sorte, un robinet très sensible, dont le degré d'ouverture et sous la dépendance de la température du matelas d'eau, et qui ne

laisse aller aux brûleurs que la quantité de gaz strictement nécessaire pour compenser les causes de refroidissement.

Au lieu de fermer la tubulure 5 hermétiquement, je la surmonte d'un tube de verre 8 quand j'ai atteint la température voulue. La pression

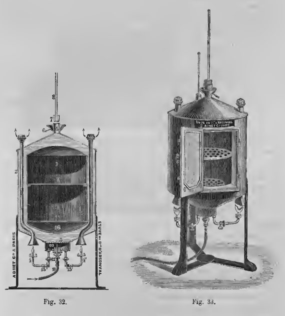


Fig. 32. Fig. 33.

exercée par l'eau qui s'élève dans le tube suffit à pousser la membrane. De cette manière, l'étuve retombe à son point au rallumage.

Ce régulateur direct *est un grand thermomètre creux dans la cavité duquel se loge le corps à étudier*. On retrouve ce principe de régulation (totalisation des changements de volume du matelas annulaire) dans tous mes appareils. Leur sensibilité n'a pas de limites, bien que leur construction ne nécessite aucune précision. Une étuve contenant 20 litres

d'eau maintient la température à 1/50e de degré dans l'espace intérieur, s'il est bien clos, et on peut aller beaucoup plus loin.

C'est ce modèle d'étuve qui a été adopté aujourd'hui généralement dans tous les laboratoires, tant français qu'étrangers.

Lorsqu'on veut avoir de grands espaces à température fixe, capables de contenir une ou plusieurs personnes, pour la calorimétrie humaine, ou certaines expériences de physique, la forme de l'étuve est modifiée légèrement.

N° 49. — *Calorimètre enregistreur.*

(Société de Biologie, 1877)

Cet appareil dérive de mon enceinte à température constante et présente les mêmes dispositions générales.

Il est astreint, ainsi que je l'ai dit, à rester toujours à la même température que l'enceinte. La chaleur qui lui est cédée par la présence de l'animal, lui est enlevée à mesure par un courant d'eau qui, entrant à zéro, sort à la température de l'enceinte T. Cette eau, en traversant le calorimètre, gagne donc T calories par litre écoulé; la mesure de la chaleur produite par l'animal se trouve ainsi ramenée à celle d'un écoulement liquide.

L'eau, à zéro, est fournie par un réservoir qui contient de la glace ordinaire maintenue immergée sous l'eau. Ce réservoir est isolé par des corps mauvais conducteurs de la chaleur.

Le calorimètre proprement dit se compose, comme l'étuve de la figure 32, de deux cylindres concentriques circonscrivant deux cavités; une centrale, où est placé l'animal en expérience, l'autre annulaire, qui renferme le matelas liquide dilatable.

Le liquide est traversé par un serpentin à travers lequel passe l'eau à zéro chargée d'enlever la chaleur produite par l'animal.

Pour cela, un des bouts du serpentin (celui de gauche dans la figure 34, est relié avec le récipient contenant l'eau à zéro, le second bout est en rapport avec le régulateur d'écoulement qu'on voit à droite de la figure.

Ce régulateur est construit de telle sorte qu'il permet l'écoulement de l'eau à travers le serpentin aussitôt que la température du calorimètre tend à s'élever au-dessus de la température ambiante. On en

trouvera la description détaillée ci-dessous. Tant que le calorimètre est à la température ambiante, aucun écoulement d'eau ne peut avoir lieu; si on introduit, au contraire, un animal dans le calorimètre, *immédiatement*, l'écoulement d'eau à zéro commence, d'autant plus rapide que

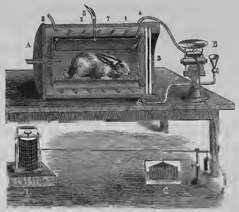


Fig. 34.

la source de chaleur est elle-même plus énergique; et cela sans secousses, avec une continuité parfaite.

La *température moyenne* du calorimètre, pendant tout le temps, ne varie pas de 1/100° de degré.

Rien de plus facile que d'évaluer le nombre de calories fournies, en un temps donné, par l'animal en expérience. Il suffit, pour cela, de mesurer le volume d'eau qui a traversé le serpentin. En effet, supposons que l'eau qui entre à zéro sorte du calorimètre à + 15 degrés, elle aura enlevé 15 calories par litre écoulé.

La mesure de la chaleur dégagée est donc ramenée à la mesure d'un volume liquide, et rien de plus facile que d'inscrire les phases correspondantes du dégagement de chaleur. Dans le dispositif, figure ci-contre, utilisé par M. Marey, pour d'autres expériences, le liquide se

rend dans un grand vase cylindrique muni d'un flotteur ne touchant pas la paroi. Ce flotteur est suspendu à un long levier qui tend constamment à le soulever sous l'influence d'un contrepoids bien visible sur la figure 4. L'extrémité de ce levier porte une plume qui vient inscrire les phases de l'écoulement sur un cylindre faisant un tour en vingt-quatre heures et qui porte un papier divisé. On fait varier à volonté le bras de ce levier de façon qu'une division verticale corresponde à la calorie, et une division horizontale à la minute de temps.

Pour contrôler l'exactitude de l'appareil, je lui fournis une quantité

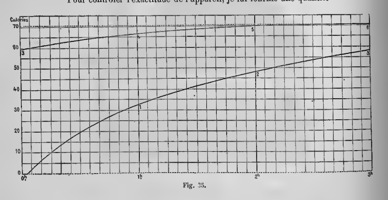


Fig. 35.

de chaleur connue et je mesure ensuite celle qu'il enregistre. L'écart est toujours infiniment faible.

Ci-joint, à titre d'exemple, un graphique donné par l'appareil (fig. 34).

J'avais placé dans le calorimètre un litre d'eau à 100 degrés. La température du calorimètre étant à 30 degrés, le refroidissement par rayonnement a mis environ six heures à s'effectuer. La courbe (fig. 35) indique les phases de ce refroidissement. On voit qu'on retrouve sensiblement les 70 calories fournies à l'appareil, et la régularité de cette courbe montre que l'écoulement se fait bien proportionnellement au gain de chaleur. D'un grand nombre d'expériences de ce genre, j'ai pu conclure que cette méthode fournit des résultats d'une exactitude plus que suffisants pour la physiologie.

Je ferai remarquer, d'ailleurs, que l'*erreur absolue de l'appareil reste sensiblement constante, tandis que l'erreur relative devient de plus en plus petite à mesure qu'on prolonge l'expérience.* C'est là un des plus grands avantages de ma méthode.

Dans les nombreuses expériences que j'ai faites au Collège de France, j'ai pu supprimer l'enceinte à température constante environnant le calorimètre. Pour cela, j'ai installé l'instrument dans une cave du laboratoire dont la température reste constante pendant des semaines, et dont les oscillations vont de + 10 degrés à + 12 degrés dans le courant de l'année.

C'est une condition facile à réaliser dans la plupart des laboratoires et qui a l'avantage de simplifier l'installation.

N° 50. — *Influence du poids et de la taille sur la thermogenèse animale.*

(Travaux du laboratoire de Marey, 1878-1879, et Société de Biologie, 1880 et 1884.)

Avant mes expériences, on considérait *la production* de chaleur comme variable suivant les espèces animales, et, *pour une même espèce*, on s'accordait à admettre que les petits animaux, à égale température centrale, doivent produire relativement plus de chaleur que les gros. Cependant on n'avait aucune donnée certaine, la calorimétrie, seule, pouvant fournir, à cet égard, des mesures précises. Mes expériences m'ont démontré que, pour *un même poids* d'animal, la chaleur produite est simplement fonction de la surface.

N° 51. — *Influence de l'espèce animale.*

(Travaux du laboratoire de Marey, 1878-1879.)

On n'avait, avant ce travail, aucune idée certaine sur la production de chaleur correspondant à un même poids d'animaux d'*espèces différentes*.

La mesure de la température centrale peut à peine donner une présomption en faveur de l'activité de la thermogénèse. Les oiseaux qui ont, dans le cloaque, une température de 42° centigrades, ne sont peut-être pas plus producteurs de chaleur que les mammifères, dont la chaleur centrale est moindre d'environ 4°.

La haute température des oiseaux peut tenir à la moindre conductibilité de leur plumage, qui constitue pour eux une protection contre les causes de refroidissement plus parfaite que le poil de certains animaux.

Pour faire des expériences rigoureusement comparatives, il fallait mettre dans le calorimètre des animaux de poids égal, mais d'espèces

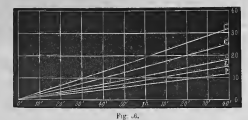


Fig. 36.

Les temps sont comptés sur l'axe des abcisses, à raison de 6 centimètres à l'heure ; chaque expérience a duré 1 h. 40 minutes. Les calories se comptant sur l'axe des ordonnées, à raison de 1 millimètre par calorie. — P, courbe calorigraphique de la poule ; L, du lapin ; C, du chat ; C', du chien ; C'', des cobayes.

différentes. C'est ce que j'ai fait en opérant sur cinq espèces d'animaux : chien, poule, cobaye, lapin, chat.

Le tableau suivant donne les poids et les températures rectales de ces cinq animaux.

Espèces	Poids	Température rectale
Chiens.........	2,700 kil.	38°,2
Poule...........	1,400	41 ,6
Cobayes.........	1,950	38 ,1
Lapin...........	1,925	36 ,7
Chat............	3,600	n'a pas été prise

Les courbes calorigraphiques recueillies sur ces espèces d'animaux sont représentées dans la figure 36.

On voit que la poule a produit moins de chaleur que les autres animaux ; son poids, il est vrai, était plus faible, mais, en tenant compte de cette infériorité, on peut conclure que la production de chaleur n'est pas plus grande pour elle que pour le lapin. La haute température du cloaque doit donc s'expliquer par la conservation plus parfaite de la chaleur produite, grâce à l'abri que constitue le plumage.

En comparant la production de chaleur des cobayes à celle des lapins qui représentaient sensiblement le même poids, on voit que les cobayes font, à poids égal, au moins deux fois autant de chaleur que les lapins.

N° 52. — *Influence du tégument externe.*

Cette influence résulte simplicitement de l'expérience ci-dessus qui montre que la plume protège mieux que le poil, puisque, à surface égale de déperdition, la poule a perdu moins que le lapin, bien qu'elle eût une température de 4 degrés plus élevée. J'ai constaté le même fait en coupant le poil à des lapins, ou en les enduisant d'huile comme on le verra plus bas.

N° 53. — *Influence de la température du milieu ambiant.*

(Société de Biologie, 1884.)

Il faut, pour apprécier cette influence, que la température du milieu où est l'animal reste évidemment constante. Ma méthode calorimétrique seule donne ce résultat.

La production est, en général, proportionnelle à l'abaissement de la température extérieure, entre 0 degré et 15 degrés, mais cette proportionalité n'est pas rigoureuse. Aux basses températures, l'animal produit proportionnellement moins, bien que sa température centrale reste la même. Cela prouve que sa surface de déperdition *physiologique* n'est pas constante comme sa surface *physique*. Par conséquent, la surface *géométrique* d'un animal n'est pas suffisante pour qu'on en puisse déduire sa perte par rayonnement. Il faut tenir compte aussi de l'état de la circulation périphérique. *L'animal lutte donc contre le froid de deux façons :*

1° En diminuant sa circulation périphérique ;

2° En augmentant par son système nerveux l'intensité des combustions organiques.

Au-dessus de 20 degrés, il n'en est pas ainsi, *l'animal n'est plus maître de la production qui augmente avec la température du milieu ambiant.* Pour lutter contre l'élévation de température, il n'a plus qu'un

moyen : *augmenter la perte* par dilatation vasculaire périphérique et par évaporation.

Le calorimètre montre donc ce fait intéressant que *nous sommes beaucoup mieux armés pour lutter contre le froid que contre la chaleur.*

N° 54. — *Influence de la pression barométrique.*

(Biologie, 1884 et cours du Collège de France, 1886.)

Je n'ai pas pu étudier l'influence de l'augmentation de pression ; n'étant pas outillé pour cela.

J'ai dû, en conséquence, remplacer la pression en faisant respirer à l'animal de l'oxygène pur.

Constamment, j'ai observé une diminution marquée dans la thermogenèse, surtout au début de l'expérience.

En passant d'une pression de 760 à 500 millimètres, je n'avais pas constaté de résultats bien marqués sur le cobaye et le lapin ; mais en reprenant ces expériences dans mon cours de l'hiver 1886, et en poussant la dépression jusqu'à 200 millimètres, j'ai vu la *diminution de pression* coïncider avec *une diminution très notable* dans la production de la chaleur.

Le fait est intéressant au point de vue des habitants des hauts plateaux et de l'aérothérapie.

N° 55 — *Influence de la composition gazeuse du milieu.*

(Société de Biologie, 1884.)

J'ai constaté que l'asphyxie brusque ou l'asphyxie par l'acide carbonique pur augmente beaucoup la *production* de chaleur. Lorsque, au contraire, on fait respirer à l'animal une atmosphère qui ne contient que 5 à 10 0/0 d'acide carbonique, la production de chaleur est notablement diminuée.

N°. 56. — *Influence de l'abstinence.*

(Société de Biologie, 1881.)

L'abstinence agit d'une façon absolument différente chez les mammifères et chez les oiseaux. Au bout de 12 heures d'abstinence, la produc-

tion a notablement diminué chez une poule et des pigeons; après 36 heures, la production chez la poule était tombée à moitié. Chez un chien, la production, après 36 heures, avait seulement diminué d'un cinquième; chez quatre cobayes, la production était encore la même au bout de 48 heures. Cette observation coïncide bien avec ce fait connu que les oiseaux ont besoin de manger plus souvent que les mammifères.

N° 57. — *Influence de la digestion.*
(Société de Biologie, 1880 et 1884)

Chez les animaux que j'ai expérimentés (chiens, lapins, pigeons, cobayes, poules), la production de chaleur a augmenté notablement pendant les deux premières heures environ qui suivent le repas, cette augmentation a été même de plus de moitié sur un chien à jeun depuis 24 heures.

N° 58. — *Influence de la lumière.*
(Biologie, 1880.)

J'ai nettement constaté, mais chez les oiseaux seulement jusqu'à présent, une diminution dans la production de chaleur, sous l'influence de l'obscurité complète. Peut-être cela tient-il seulement à ce que ces animaux cessent tout mouvement dans l'obscurité, ce qui n'a pas lieu, en général, pour les mammifères.

N° 59. — *Influence des enduits et vernis appliqués sur la peau.*
(Biologie, 1881 et 1884.)

Les animaux à fourrure (lapins, cobayes) qu'on recouvre d'huile, de glycérine ou de dextrine présentent un notable abaissement de la température centrale au thermomètre, ce qui avait fait dire que chez eux la production de chaleur diminuait sous cette influence.

Le calorimètre m'a montré précisément le contraire. Cet abaissement de la température coïncide au contraire, avec une production exagérée, ainsi sur un lapin qui produisait 18 calories à l'heure, à l'état normal, en dégageait 35 après avoir été frottée d'huile d'olive, un autre qui dégageait 10 calories, en a dégagé 28 après avoir été frotté d'huile de

lin. Ces diverses expériences m'ont montré que les enduits, et surtout l'huile de lin, augmentaient considérablement le rayonnement d'un animal. Dans ces conditions, on peut dire que les animaux meurent de froid parce que la production de calorique est insuffisante à compenser la déperdition. Ces faits pourraient expliquer pourquoi certaines populations (nègres) exposées à de hautes températures, ont toujours une sécrétion huileuse de la peau, et pourquoi l'application d'une couche d'huile sur une brûlure superficielle, calme la douleur comme une application de froid. Cet exemple est typique également pour montrer combien le thermomètre est capable de nous induire en erreur sur les variations de la thermogenèse.

N° 60. — *Influence de l'incubation et du développement.*

(Académie des sciences, juillet 1881, et Biologie, 18 juin 1881.)

Le calorimètre m'a montré, d'une manière directe, que l'œuf de poule en incubation ne se comporte pas comme un corps inerte. Pendant toute la première semaine environ, il *absorbe* beaucoup de chaleur pour en dégager, au contraire, à la façon d'un être vivant vers la fin de l'incubation, avant l'éclosion du poussin.

N° 61. — *Variation du pouvoir émissif de la peau humaine.*

(Biologie, 1881.)

Par la *calorimétrie locale*, j'ai montré, qu'à *surface égale*, il n'est pas deux points de la peau qui rayonnent des quantités égales de chaleur. De plus, le rayonnement d'une même surface change d'un moment à l'autre. C'est la preuve éclatante de l'indépendance absolue des circulations locales.

Donc, toute méthode qui voudrait évaluer la production de chaleur par la mesure des surfaces de déperdition, comme on le fait en physique pour les corps bruts, ferait fausse route. Une même surface, dont l'excès de température sur le milieu ambiant, reste constant, perd par unité de temps une même quantité de chaleur. C'est un fait évident quand on considère une surface inanimée quelconque.

J'ai constaté qu'il en était autrement pour la peau humaine (Biologie, 29 novembre 1884). Pour cela, j'ai mesuré à la fois la température locale

de la peau de l'avant-bras et la chaleur rayonnée par un cercle de 5 centimètres de diamètre de cette peau. Or, à *température superficielle égale*, j'ai obtenu des nombres variant du simple au double. Ce fait ne pouvait s'expliquer qu'en admettant que la sécrétion cutanée modifie *le pouvoir émissif* de la peau. J'ai vérifié cette hypothèse en mesurant ce pouvoir au moyen de la pile Melloni et du galvanomètre. Le pouvoir émissif varie du simple au double en enduisant la peau d'un corps gras. Une conséquence importante à tirer de ce fait, c'est qu'on ne peut pas affirmer qu'il y ait hypergénèse thermique alors même que la thermogénèse montrerait une hyperthermie à la fois centrale et superficielle, car cette double augmentation peut néanmoins s'accompagner d'une perte moindre (et, par conséquent d'une production moindre), si le pouvoir émissif de la peau a subi un changement en sens inverse. Cette expérience montre, une fois de plus, combien la thermométrie est infidèle pour constater les variations de la *production* de la chaleur animale, le thermomètre nous renseigne exclusivement sur sa *répartition*.

N° 62. — *Influence de la fièvre.*

J'ai provoqué un état fébrile, expérimentalement, chez des animaux, en 1881, en injectant dans une patte de l'ammoniaque liquide ou des liquides virulents (culture charbonneuse) extrêmement actifs et que je devais à l'obligeance de M. Pasteur. Malgré une élévation très notable de la température centrale, j'ai constaté, par le calorimètre, que la *production* de chaleur avait à peine varié. Les théories de la fièvre (variations exclusivement dans la *répartition* de la chaleur) dues à Traube et à Marey, sembleraient donc recevoir une confirmation du fait de ces expériences négatives. Les faits cliniques observés récemment par MM. Albert Robin et Hénocque dans la fièvre typhoïde, montrent que les oxydations sont diminuées dans cette maladie et plaident dans le même sens.

N° 63. — *Influence du froid et des irritations cutanées.*

(Biologie 1881 et 1884.)

L'influence *momentanée et de très courte durée* du froid (immersion dans l'eau glacée, pulvérisation d'éther, de chlorure de méthyle) sur la

surface cutanée, amène une diminution passagère de la thermogénèse, mais, après 5 ou 10 minutes, la production augmente énormément chez le lapin et chez le chien.

On obtient le même effet en irritant un point, *même assez limité*, de la peau par un procédé quelconque (douche de sable chaud, fustigation, etc.). Il est très probable que l'hydrothérapie agit chez l'homme, par ce mécanisme réflexe.

N° 64. — *Coefficient de partage thermique.*
(Biologie, 1884.)

La chaleur cédée au calorimètre par l'animal, provient de deux sources différentes, savoir : la peau et le poumon. La peau perd par rayonnement, contact direct et évaporation, le poumon seulement par contact et évaporation.

J'ai appelé *coefficient de partage thermique*, le rapport entre ces deux quantités. J'ai trouvé pour l'homme la valeur suivante : sur 100 calories perdues, 20 à 25 seulement sont le fait du poumon.

N° 65. — *Influence des anesthésiques* (*chloroforme*, *éther*).
(Société de Biologie.)

J'ai montré, dans cette note, que les moindres traces de vapeurs anesthésiques (éther, chloroforme) dans l'air respiré par un animal, suffisaient pour amener un abaissement rapide dans la production de la chaleur.

N° 66. — *Causes d'erreur de la calorimétrie par rayonnement. Moyens pour les éviter. Critiques expérimentales.*
(Société de Biologie, 27 décembre 1884.)

Dans cette note, j'ai fait, avec beaucoup de soin, la critique expérimentale de ma méthode de calorimétrie par rayonnement.

N° 67. — *Influence des toxines microbiennes.*
(Biologie, 17 février 1894, avec Charrin.)

Si on injecte de la tuberculine à des lapins ou des cobayes on constate, surtout quand les animaux sont tuberculeux, une énorme élévation

de la température centrale. Le calorimètre montre au contraire un *abaissement* dans la production de chaleur, nouvelle preuve de l'insuffisance de la thermométrie pour nous renseigner sur les variations de la thermogénèse.

N° 68. — *Calories dégagées par l'homme.*

(Biologie, février 1894.)

Je terminerai cette énumération en donnant quelques mesures calorimétriques effectuées sur moi-même :

Poids, 74 kilogrammes ; âge 42 ans ; température ambiante, 18 degrés.

	CALORIES à l'heure.
A jeun, debout et nu, je dégage.	124,4
A jeun, debout et habillé, je dégage.	79,2
1 heure après déjeuner, debout et habillé, je dégage. .	91,2
1 heure après déjeuner, assis et habillé, je dégage . . .	79,6
Après un bain à 28 degrés	48,0

On voit quelles énormes oscillations de la thermogénèse on peut constater chez un homme à l'état de santé. La station verticale, notamment, fait passer la production de chaleur de 69.6 calories (position assise) à 91.2. Le calorimètre rend donc bien compte de la fatigue que cause la station debout, puisque la contraction musculaire, dans ce cas, rejette 21.6 calories de plus, ce qui suppose une consommation considérablement accrue pour fournir ce *travail physiologique* qui échappe aux mesures de la mécanique et que M. Chauveau a eu parfaitement raison de distinguer du travail mécanique.

N° 69. — *Calorimètre par rayonnement.*

(*La Lumière électrique*, 18 octobre 1884.)

La méthode calorimétrique à température constante que je viens de décrire donne des résultats irréprochables. Elle ne présente d'autre inconvénient que celui de nécessiter une installation spéciale et de ne pouvoir se prêter aux expériences sur les grands animaux, à cause du volume qu'il faudrait donner aux appareils.

Pour les expériences courantes, et surtout pour les expériences com-

paratives, les physiologistes ont préféré la méthode suivante que j'ai fait connaître en 1884.

Cette méthode repose sur le principe physique suivant : supposons qu'une source de chaleur quelconque soit enfermée dans un vase métallique à double paroi, de forme cylindro-sphérique par exemple, l'environnant de toutes parts. Dans la double paroi se trouve une couche d'air atmosphérique communiquant avec l'extérieur par l'intermédiaire d'un manomètre à air libre contenant du mercure ou tout autre liquide.

La chaleur dégagée par la source ne peut se perdre à l'extérieur, par rayonnement, qu'après avoir traversé intégralement la masse d'air communiquant avec le manomètre. Cette masse d'air s'échauffe jusqu'à ce que la paroi extérieure du calorimètre rayonne dans l'air ambiant une quantité de chaleur exactement égale à celle que dégage la source placée à l'intérieur. Il est de toute évidence que ce matelas d'air environnant la source calorifique doit être sans interruption et présenter une épaisseur sensiblement uniforme. Toute mesure serait complètement illusoire si on remplaçait, par exemple, les deux vases concentriques par un tube plein d'air roulé sur lui-même. Dans ce cas, en effet, la chaleur peut se perdre à l'extérieur soit par les interstices laissés entre les spires du tube, soit par simple communication métallique, sans avoir, au préalable, échauffé la masse d'air contenue dans le tube. Or, c'est l'échauffement de cette masse d'air dont la mesure donne à chaque instant la quantité de chaleur perdue par la source en vertu de la loi de Newton. La mesure de cet échauffement peut se faire de deux manières différentes : ou bien à volume constant et à pression variable (c'est le cas du manomètre à air libre), ou bien à volume variable et à pression constante (c'est le cas du gazomètre enregistreur). J'ai employé successivement ces deux procédés dans mes expériences; on en trouvera, au cours de cette étude, les avantages et les inconvénients.

La figure 37 donne un schéma de cette méthode appliquée à la calorimétrie humaine.

Le calorimètre se compose de deux vases cylindro-sphériques concentriques 1, 2, limitant deux cavités : une intérieure 2, où se place l'homme; une annulaire 1, hermétiquement close et pleine d'air. Cette cavité est en communication, par le tube 3, avec un manomètre en U figuré en 4 et rempli d'eau.

Le calorimètre est suspendu au plafond par une poulie 6 et équilibré

par un contrepoids 7 qui sert à le soulever aisément pour permettre à l'homme de s'y introduire.

Sa base repose sur un socle 8, muni d'une rainure circulaire qu'on emplit de liquide et qui isole de l'air extérieur la cavité 2 par fermeture hydraulique. Au milieu du socle débouche un tuyau 9 qui passe à travers la cloison de la pièce. La ventilation a lieu par la cheminée 9 où brûle un bec de gaz à débit rendu constant par un régulateur Giroud L'air extérieur arrive par le tube 10 situé en haut du calorimètre. La

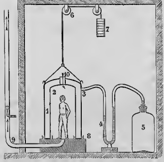


Fig. 37.

ventilation se faisant de haut en bas, la température est bien uniforme dans l'intérieur du cylindre calorimétrique. Quand je veux étudier les combustions respiratoires, je mets les tubes 9 et 10 en communication avec un compteur à gaz à mouvement forcé qui fait circuler sur lui-même l'air du calorimètre et transforme ce dernier en un appareil de Regnault et Reiset.

Supposons l'appareil relié à un manomètre à air libre par le tube 3; si une source de chaleur est placée en 2, elle échauffe l'air de 1, et sa température s'élève jusqu'à ce que la paroi extérieure perde par rayonnement une quantité de chaleur égale à celle qu'elle reçoit de la source. Cette augmentation de température se traduit par l'élévation de la colonne du manomètre qui en donne la mesure.

En effet, en vertu des lois de Mariotte et de Newton, la chaleur

rayonnée dans l'unité de temps est *directement proportionnelle* à l'élévation du manomètre. *La sensibilité de l'instrument reste donc la même à chaque instant, quelle que soit la hauteur du manomètre.* L'emploi du manomètre est très simple, très commode et très exact quand on ne veut pas inscrire les indications de l'instrument.

Disposé comme je viens de l'indiquer, le calorimètre doit subir des corrections si, dans le cours d'une expérience, la pression barométrique et la température ambiante viennent à varier. Ces corrections sont toujours aussi délicates qu'infidèles.

Pour les éviter, je relie la seconde branche du manomètre en U, soit à un second calorimètre identique au premier, mais vide; soit à un grand vase 5, qui se trouve dans la même pièce. On a ainsi un vrai *thermomètre différentiel*, et le manomètre indique constamment *l'excès de température du calorimètre sur le milieu ambiant*, c'est-à-dire précisément la quantité à mesurer. Pour que la graduation reste constante, il faut évidemment qu'il en soit de même du pouvoir émissif de la paroi du calorimètre. Le moyen le plus simple, et qui m'a le mieux réussi dans la pratique, consiste à recouvrir cette paroi d'une couche de peinture au minium ou à la céruse, qu'on vernit ensuite pour pouvoir la laver aisément.

Les calories rayonnées en un temps donné sont rigoureusement proportionnelles à la hauteur du manomètre. La mesure de la *quantité* de chaleur dégagée par un être vivant est donc aussi simple que la mesure d'une température à l'aide de ce procédé.

Je gradue l'appareil en plaçant dans son intérieur une source de chaleur d'intensité connue (spirale métallique traversée par un courant électrique).

Pour enregistrer les indications du manomètre différentiel, j'opère de la façon suivante (figure 38).

Chaque tube manométrique TT' plonge dans des vases V V' portés sur les plateaux d'une balance. Les tubes sont fixés aux supports SS' et indépendants de la balance. Cette dernière a son centre de gravité abaissé par un contrepoids mobile P, et son fléau porte un levier L, muni d'une plume, qui inscrit son déplacement sur un cylindre enregistreur C. En faisant une aspiration dans les deux réservoirs du thermomètre différentiel on aspire la colonne liquide jusque vers le milieu des tubes manométriques qui sont choisis d'égal calibre. Il est facile de

comprendre que, dans ces conditions, la balance inscrira seulement la *différence* de hauteur des colonnes manométriques.

Cet instrument a l'inconvénient de nécessiter un temps assez long pour prendre une mesure calorimétrique (presque une heure). Les physiologistes l'ont adopté, à cause de sa simplicité, mais l'emploi doit en

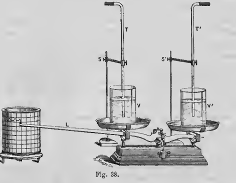


Fig. 38.

être réservé pour la démonstration ou pour des expériences comparatives ainsi que je l'ai indiqué. Contrairement à ce que je pensais, il s'applique difficilement à la clinique. Pour arriver à ce résultat j'ai dû faire bien des essais infructueux, et ce n'est que récemment que j'ai abouti, à l'aide du procédé suivant :

70. — *Anémo-Calorimètre.*

Un calorimètre clinique doit remplir les conditions suivantes :

1° Pouvoir s'installer dans n'importe quelle salle d'hôpital;

2° Être assez léger pour qu'on puisse le déplacer;

3° Permettre de prendre une mesure calorimétrique rapidement. En cinq minutes par exemple;

4° Pouvoir, au besoin, s'installer au lit du malade et donner *automatiquement* des indications *continues*, sous forme de courbe calorimétrique, sans que personne ait à surveiller la marche de l'appareil.

L'instrument que j'ai imaginé réeemment (*Biologie*, 27 janvier 1894) remplit ces conditions multiples. Voici sur quel principe repose cet appareil que j'ai appelé *Anémo-Calorimètre :*

Supposons un homme enfermé dans une espèce de chambre, l'isolant du milieu ambiant. L'air peut pénétrer librement par la partie inférieure de eette chambre, et s'échapper par une courte cheminée située à la partie supérieure. La présence du sujet agit comme une source de chaleur et détermine un tirage d'autant plus actif qu'il dégage plus de chaleur. En plaçant un anémomètre au-dessus de la cheminée d'appel, le nombre de tours du moulinet, dans l'unité de temps, donne une mesure très exacte de la vitesse du eourant d'air, et, par suite de la ehaleur dégagée par l'individu. Ce proeédé, qui paraît grossier de prime abord, est d'une sensibilité surprenante et j'ai été vraiment étonné de la rapidité et de la justesse des indications qu'il fournit, ainsi qu'on le verra plus loin.

On constitue pour l'homme un ealorimètre, à la fois simple, peu eoûteux, et léger, en prenant un cylindre d'étoffe (eouverture de laine) de 2 mètres de haut environ, attaehé à uu disque de bois de 80 centimètres de diamètre (fig. 39).

Ce disque de bois qui constitue le plafond de la chambre calorimétrique porte à son eentre une cheminée conique ayant 20 eentimètres de base et 10 eentimètres à la partie supérieure sur 60 à 80 centimètres de hauteur totale. La partie supérieure reçoit un embout métallique eoudé à angle droit sur lequel vient s'adapter l'anémomètre, ainsi qu'on le voit sur le dessin. Trois tiges de bois supportent au-dessus du sol le eylindre calorimétrique qui peut se transporter ainsi dans une salle queleonque avee la plus grande facilité.

Pour les expériences que je poursuis au laboratoire, j'emploie une chambre calorimétrique earrée, en bois, munie d'une porte vitrée qui donne aceès dans l'intérieur. C'est une guérite très légère ayant 80 centimètres de largeur, sur 1 mètre de profondeur et $1^{m},70$ de hauteur.

Le premier dispositif est plus simple de construction. Il convient mieux pour l'hôpital. Deux cerceaux métalliques conservent à l'étoffe la forme cylindrique dans toute sa bauteur.

Si l'on veut faire de la calorimétrie elinique sur un malade couehé, on transforme son lit en ehambre ealorimétrique. Les lits d'hôpitaux se prêtent très simplement à cette transformation. Il suffit pour cela de

recouvrir le dessus du lit d'un plancher en bois portant la cheminée et son anémomètre et de clouer tout autour une étoffe qui transforme le lit en cage calorimétrique, en ayant soin de laisser l'air arriver par le pied du lit.

L'anémomètre qu'on voit figure 40 est constitué par un moulinet très

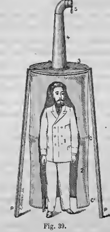


Fig. 39.

1. Individu en expérience.
2. Cylindre de laine fixé au disque de bois 3 et maintenu écarté par les cerceaux C. C'.
4. Cheminée conique.
5. Embout portant l'anémomètre.
P, P, P. Trois pieds en bois soutenant l'appareil.

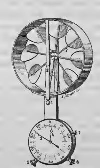


Fig. 40.

1. Poussette enclanchant à volonté le compteur avec le moulinet.
2. Moulinet de l'anémomètre composé de huit ailettes d'aluminium.
3 et 4. Aiguilles du compteur.
5 et 6. Bornes électriques allant à l'odographe.
7. Bouton de remise au zéro.

léger, portant 8 ailettes en aluminium, inclinées de 45 degrés sur l'axe de rotation. Le mouvement du moulinet se transmet, à volonté, à un compteur de tours, placé plus bas, qu'on embraye au moment voulu. Ce compteur donne, en mètres, le chemin parcouru par l'air. On a donc ainsi la possibilité de mesurer très rapidement la vitesse du courant

d'air et en même temps le volume d'air qui a traversé l'appareil, c'est-à-dire le coefficient de ventilation. Cet anémomètre a 10 centimètres de diamètre et obéit instantanément au moindre déplacement de la colonne d'air. Il ne présente pas d'inertie, et sa vitesse de rotation est rigoureusement proportionnelle à la vitesse de l'air. Il a été établi avec le plus grand soin sur mes indications, par M. Jules Richard, bien connu des météorologistes pour ses belles études anémométriques.

Pour donner une idée de la sensibilité de l'appareil, il me suffira de dire que la présence d'un homme dans le calorimètre figuré en 39 fait exécuter au moulinet 2,500 tours en un quart d'heure. Au bout de ce temps, la colonne d'air qui sort de l'appareil a parcouru 625 mètres, ce qui correspond à une ventilation d'environ 18 mètres cubes d'air à l'heure, étant donné le diamètre de l'orifice de sortie. On voit par ce chiffre que le patient ne court aucun danger d'être asphyxié par son séjour dans la chambre calorimétrique, puisque la ventilation en est assurée d'une manière autrement libérale que dans nos appartements, et cela par la seule présence de l'homme.

Pour faire une mesure calorimétrique trois minutes suffisent. En effet, l'homme pénètre dans le calorimètre en soulevant le cylindre d'étoffe ; au bout de *moins d'une minute* de séjour le moulinet a pris sa vitesse maxima. Ce temps écoulé, l'observateur, muni d'une montre à secondes, enclanche le compteur au moment même où l'aiguille de sa montre passe au zéro, et le déclanche quand la même aiguille repasse sur le zéro, c'est-à-dire une minute après. On peut prolonger la lecture pendant deux, trois ou quatre minutes si on le désire. Mais l'expérience m'a montré que deux minutes sont largement suffisantes. Donc une ou deux minutes pour que le régime permanent du moulinet s'établisse ; une ou deux minutes pour compter les tours, voilà à quoi se réduit une mesure calorimétrique.

Il n'y a nullement à s'inquiéter des variations de la température ambiante qui ne sauraient influencer l'anémomètre. L'instrument tourne uniquement, en effet, sous l'influence de la *différence* de température entre l'air qui entre et l'air qui sort de l'appareil. Cette différence reste constante, pour une même source de chaleur, quelle que soit la température initiale de l'air à son entrée, c'est-à-dire quelle que soit la température de la pièce où est placé le calorimètre. C'est là un énorme avantage, on le comprend. L'appareil ne présente pas d'inertie ther-

mique, il se met de suite en équilibre avec la source de chaleur; c'est pour cela qu'il est construit en étoffe et bois, et non en métal pour ne pas constituer un *volant de chaleur*.

Pour mesurer la vitesse du courant d'air on pourrait songer à mesurer ou sa température à la sortie de l'appareil ou sa force ascensionnelle par un procédé quelconque. J'ai renoncé bien vite à ces deux moyens qui sont essentiellement infidèles, peu sensibles et beaucoup plus longs que l'emploi de l'anémomètre. Les minutieuses recherches des météorologistes, et notamment celles de M. Angot, au bureau central de météorologie, ont démontré, en effet, que le procédé le plus précis pour mesurer la vitesse de l'air est l'emploi de l'anémomètre tel que l'a établi M. Jules Richard. L'anémomètre qu'il m'a construit tourne lorsqu'on le tient à la main et qu'on marche en parcourant *moins de 5 centimètres par seconde*. Il s'arrête instantanément quand on s'arrête, et traduit tous les à-coup de la marche; en un mot, il ne présente pas d'inertie, et sa rotation traduit fidèlement les mouvements de la colonne d'air où il est plongé.

Lorsque l'on veut obtenir une mesure continue de la chaleur dégagée, l'appareil se transforme très simplement en *calorigraphe* à indications continues de la manière suivante : sur le compteur de l'anémomètre j'ai fait établir un contact électrique dont on voit les bornes sur la figure. A chaque tour de l'aiguille du compteur, le courant est fermé quand cette aiguille passe au zéro. Le courant actionne un électro-aimant qui fait monter d'un cran une plume imprégnée d'encre, laissant sa trace sur un cylindre qui tourne en fonction du temps. On obtient ainsi une courbe qui totalise les révolutions de l'anémomètre, et dont l'inclinaison variable sur la ligne du temps donne à chaque instant la vitesse du moulinet. Cet appareil n'est autre, comme principe, que l'*odographe* inventé par M. Marey[1]. De cette courbe il est facile de déduire la chaleur produite, *à chaque instant*, par le sujet en expérience. C'est ainsi qu'en établissant au-dessus de mon lit un appareil de ce genre, j'ai pu étudier les variations de la thermogénèse humaine pendant le sommeil. On pourrait avoir une courbe qui donne directement l'énergie de la thermogénèse en employant l'anémocinémographe de Richard, mais cette complication est parfaitement inutile, et la courbe de l'odographe donne tous les renseignements qu'on peut exiger.

1. Marey. *Méthode graphique*, p. 183, Paris 1878.

Contrôle et graduation de l'anémo-calorimètre. — L'anémo-calorimètre est très sensible, et il donne des indications très rapides. Voilà ce que nous savons à présent, mais cela ne suffit pas pour en faire un appareil de mesure. Pour atteindre ce but j'ai dû résoudre les deux questions suivantes : 1° Quelle est la loi qui relie la vitesse de l'anémomètre à l'intensité calorifique de la source de chaleur; 2° les indications de l'anémomètre sont-elles dans un rapport *simple* avec l'intensité de cette source.

Il était essentiel avant tout de faire la critique expérimentale de la nouvelle méthode pour savoir le degré de confiance qu'on peut lui accorder.

Pour connaître la loi qui relie les révolutions de l'anémomètre aux calories dégagées dans l'unité de temps, j'ai procédé de la façon suivante : j'ai pris une source de chaleur constante, dont on peut faire varier à volonté l'intensité suivant une loi parfaitement connue, et j'ai compté les tours du moulinet correspondant à chaque intensité donnée à la source de chaleur.

Comme source de chaleur j'ai pris une spirale de ferro-nickel, ayant un ohm de résistance et je l'ai chauffée par un courant électrique constant évalué en ampères.

Dans ces conditions, la chaleur dégagée dans la spirale est donnée mathématiquement par la loi de Joule $W = RI^2$. Comme la résistance de la spirale R est égale à l'unité, on obtient le nombre de grandes calories (kilogramme-degré) dégagées par heure (en 3,600 secondes) par la formule suivante :

$$\text{Calories par heure} = I^2 \times 0,864.$$

Cela posé, j'ai fait varier l'intensité du courant, provenant d'accumulateurs de 5 à 15 ampères, et j'ai obtenu les nombres suivants :

	TOURS DU MOULINET en un quart d'heure.
Pour I = 5 ampères, on obtient.	1,200
Pour I = 10 ampères, on obtient.	2,398
Pour I = 15 ampères, on obtient.	3,595

D'après ces nombres, on voit que le nombre des révolutions de l'ané-

momètre est sensiblement proportionnel à l'intensité du courant; comme la chaleur dégagée est proportionnelle *au carré* de cette intensité, on voit que la chaleur de la source est proportionnelle *au carré* du nombre de tours effectués par l'anémomètre dans l'unité de temps.

J'ai fait la contre-épreuve avec des sources de chaleur aussi semblables que possible (bougies de l'Etoile de 8 à la livre). En plaçant dans le calorimètre *une seule* bougie allumée, le moulinet a donné 2,520 tours en un quart d'heure et, avec *4 bougies* semblables, 5,008 tours, c'est-à-dire un nombre de révolutions sensiblement *double* pour une source calorifique d'intensité *quadruple*. Pour arriver à ces résultats, il faut que l'appareil présente certaines proportions que l'expérience seule indique.

Peu importe qu'une partie de la chaleur soit perdue par rayonnement dans le calorimètre; ce nombre est constant pour chaque appareil, c'est un *tant pour cent* qui affecte également la source du tarage et qui ne modifie en rien la valeur *absolue* donnée par l'instrument. Cette perte modifie la *sensibilité* de l'appareil, mais non son exactitude.

Je poursuis, actuellement à l'aide de cette méthode, toute une série d'expériences sur l'homme sain; j'étudie, notamment, les effets sur la *thermogénèse* des différents procédés de l'hydrothérapie, effets qui sont, à l'heure actuelle, parfaitement ignorés des spécialistes. Cela n'a rien d'étonnant, puisque nous avons vu que le thermomètre (seul employé par les médecins) était incapable de nous renseigner sur les variations de la thermogénèse humaine. La question est encore bien autrement complexe lorsqu'il s'agit des oscillations *pathologiques* de la thermogénèse humaine. Les médecins ne savent pas encore si la fièvre est due à une modification dans la *répartition* ou bien dans la *production* de la chaleur. Mon éminent ami, le professeur Bouchard, terminait son cours de pathologie générale en disant, avec juste raison, que le calorimètre seul pouvait trancher la question. Aussi abordons-nous ce sujet, en collaboration, dans son service hospitalier, avec la nouvelle méthode qui ne saurait manquer, quoi qu'il arrive, de fournir des documents très intéressants.

71. — *Topographie calorifique : sondes thermo-électriques, galvanomètre, point fixe, etc.*

(Société de Biologie 1880, et Claude Bernard : Leçons de physiologie opératoire, 1878.)

Claude Bernard ayant repris, en 1877, ses expériences sur la topographie calorifique du système sanguin, me chargea d'installer toute la partie instrumentale.

Pour rendre ces expériences faciles à répéter et enlever les causes d'erreurs provenant des appareils, je dus modifier les sondes et le galvanomètre. Jusqu'alors, on ne pouvait mesurer que des différences de température ; en imaginant des appareils à température constante très précis, il nous fut facile de mesurer les températures *en valeur absolue* par le galvanomètre. Il suffisait, pour cela, de plonger une des soudures thermo-électriques dans une étuve portée à la température du corps de l'animal. Un modèle très réduit de l'étuve représentée figure 32, remplit parfaitement le but. Depuis, j'ai encore simplifié le procédé en me servant d'un appareil à ébullition d'éther. Ce liquide, mêlé à une certaine quantité de chloroforme, bout exactement à 37 degrés, température physiologique par excellence. On a ainsi l'avantage de supprimer tout régulateur et de pouvoir se passer du gaz qu'on n'a pas toujours à sa disposition. Sur mes conseils, ce procédé a été adopté par bon nombre d'expérimentateurs, parmi lesquels je peux citer Frédéric de Gand, Héger de Bruxelles, le Dr Redard, de Paris, etc.

Le galvanomètre doit être très sensible et donner des indications rapides. Le grand défaut des galvanomètres employés jusque-là, consistait dans leur paresse et la longue durée de leurs oscillations. Je supprimai ces deux inconvénients en adoptant un modèle particulier d'instrument, analogue au galvanomètre de Thomson, dont je supprimai complètement les oscillations en faisant plonger l'aiguille aimantée inférieure dans un bain de pétrole. Cet amortisseur liquide est excellent : l'aiguille déplacée par le courant, va prendre sa position d'équilibre sans la moindre oscillation ; et, par la nature même du liquide, se trouve à l'abri de l'oxydation. Je me sers aujourd'hui exclusivement de mon galvanomètre figure 2, à circuit mobile.

Les sondes thermo-électriques ont également reçu une disposition nouvelle qui rend absolument inutile de les entourer d'une gaine iso-

lante. Le métal qui les forme plonge directement dans le sang ou le tissu dont on veut prendre la température, sans qu'on ait à redouter la moindre action chimique comme cela arrivait lorsqu'on se servait de sondes composées de deux fils parallèles, de métaux différents.

Pour cela, j'ai disposé un des métaux, sous forme de tube, autour du second métal qui entre dans ce tube à la façon d'un mandrin isolé, jusqu'au point où se fait la soudure thermo-électrique.

Les deux métaux qui m'ont donné le meilleur résultat sont le couple fer-nickel et surtout le couple fer-cobalt, dont la force électromotrice, pour une même différence de température, est bien plus élevé que les couples fer-cuivre ou fer maillechort, employé jusque-là. Ces sondes que j'ai appelées *sondes à soudure termino-cylindrique*, n'ayant pas besoin de gaine isolatrice, peuvent se faire d'un diamètre bien plus faible que les autres et pénétrer sans inconvénients, dans la profondeur des tissus, même chez l'homme. Sous forme d'aiguilles piquantes, leur volume ne dépasse pas celui d'une aiguille de seringue de Pravaz. Avec ce dispositif, on n'a plus à craindre les courants hydro-électriques qui faussaient les indications du galvanomètre, puisqu'on n'a plus qu'un seul métal en contact avec le tissu à explorer. Il est avantageux de réunir les sondes jumelles par un fil central unique; on est ainsi à l'abri de toutes les causes d'erreur qui pourraient provenir de l'hétérogénéité du circuit.

Sous le nom de *comparateur thermo-électrique*, j'ai décrit et fait fonctionner dans mes leçons sur la chaleur animale au Collège de France (voir rapport de Marey pour le prix de physiologie, 1881, à l'Institut) un appareil qui permet de coupler les sondes thermo-électriques deux à deux et d'avoir ainsi rapidement et presque simultanément, les différences de température avec les parties les plus variées du corps.

J'ai condensé, dans un schéma simple, le résultat des expériences entreprises avec Claude Bernard, à l'aide de ces différents appareils, sur la topographie calorifique. Ces expériences n'ont été publiées qu'après la mort de l'illustre physiologiste, grâce aux notes que j'ai pu remettre à M. Mathias Duval (voir Claude Bernard : *Leçons de physiologie opératoire*, 1878).

72. — *Production de chaleur dans le muscle, en l'absence de toute contraction.*

(Biologie, 13 mars 1886.)

En excitant le sciatique *tenant encore à la moelle*, chez la grenouille, par des courants induits beaucoup trop faibles pour amener une contraction du gastrocnémien, j'ai constaté, à l'aide de mes appareils thermo-électriques, que ce muscle s'échauffe d'une façon appréciable. La circulation était supprimée et on ne pouvait invoquer un effet vaso-moteur pour expliquer ce changement de température qu'on n'observe pas non plus quand le sciatique est coupé ou la moelle épinière détruite, ce fait est à rapprocher de celui trouvé par M. Brown-Séquard, relativement à l'influence inhibitrice des courants induits, trop faibles pour amener une contraction du muscle et suffisants néanmoins pour diminuer l'irritabilité du nerf. Cette expérience me semble démontrer l'indépendance de la production de chaleur et de contraction musculaire. En un mot, s'il ne peut y avoir contraction sans changement de température dans le muscle, la réciproque n'est pas vraie, en l'absence de toute circulation, bien entendu.

N° 73. — *Paradoxe hydrodynamique.*

(Société de Biologie, 25 novembre 1876.)

En faisant écouler un liquide à travers un tube de caoutchouc de petit diamètre, j'ai constaté ce fait inattendu : *que le débit augmente en rétrécissant l'orifice placé à l'extrémité du tube.* Ce phénomène n'a pas lieu avec un tube rigide.

Ce paradoxe s'explique très simplement : lorsque l'orifice est complètement ouvert, la pression du réservoir ne se transmet pas jusqu'au bout du tube, elle est absorbée par les frottements contre les parois ; en rétrécissant, au contraire, cet orifice, le tube s'élargit (par pression latérale) dans toute sa longueur, et la pression se transmet intégralement jusqu'à l'orifice d'écoulement. Cette augmentation de charge compense, et au delà, le rétrécissement de l'orifice d'écoulement.

Cette expérience montre qu'il est parfaitement possible qu'une constriction *limitée* des capillaires sanguins puisse augmenter la rapidité de la circulation. Ce mécanisme est très probable chez certains

crustacés dont le système artériel et le système veineux sont séparés par de véritables sphincters. Couty a montré qu'il en était ainsi pour le chien dans certaines de ses expériences où il déterminait l'anémie encéphalique. (V. Biologie, 9 décembre 1876.)

N° 74. — *Mise au point d'une préparation microscopique sans toucher ni au microscope ni à la préparation.*

(Biologie, 3 mars 1877.)

Ce procédé consiste à injecter de l'eau dans le corps du microscope, entre l'objectif et l'oculaire. En augmentant la densité du milieu où se forme l'image donnée par l'objectif, on raccourcit le foyer proportionnellement à l'épaisseur de la couche d'eau injectée.

N° 75. — *Dosage des gaz dans les liquides de l'organisme*

(Biologie, 17 janvier 1880.)

Ce procédé a l'avantage de n'exiger qu'une faible quantité de liquide (1 centimètre cube) et de supprimer toute correction de température, de pression et d'état hygrométrique pour la lecture du volume gazeux. L'exactitude obtenue est néanmoins aussi grande qu'en prenant de 20 à 50 fois plus de liquide par les méthodes ordinaires.

Pour arriver à ce résultat, je fais la lecture du volume des gaz dégagés à une pression de beaucoup inférieure (de 20 à 50 fois) à la pression atmosphérique. Le volume *apparent* du gaz reste donc le même que si j'en mesurais une quantité plus grande (de 20 à 50 fois) à la pression atmosphérique.

L'appareil se compose de deux tubes barométriques, gradués en centimètres cubes, plongeant dans une longue cuvette *commune* contenant du mercure. L'un d'eux est fixe (tube correcteur) et sa chambre barométrique contient un peu d'eau et un centimètre cube de gaz (air atmosphérique) mesuré à la température de zéro et à 760 millimètres.

Le second tube (tube analyseur) est mobile et reçoit le gaz à mesurer. En le déplaçant verticalement dans la cuve, on amène le mercure au même niveau dans les deux tubes. Dans ces conditions, on a deux volumes gazeux dans les mêmes conditions de température, de pression

et d'état hygrométrique. Comme le volume contenu dans le tube fixe est connu une fois pour toutes, on en déduit, par une simple lecture, le volume gazeux contenu dans le tube mobile.

N° 76. — *Sur la reconstitution du sang après les hémorragies.*

(Biologie, 14 février 1880.)

J'ai vu qu'après une hémorragie abondante chez le chien, l'albumine et la fibrine du sang restant, sont presque entièrement à l'état de peptones. De plus, j'ai trouvé que le sérum d'un pareil sang constitue un suc digestif très actif. Il s'est donc formé des ferments dans le sang, après l'hémorragie. Les cellules se sont digérées elles-mêmes pour reconstituer ce liquide, car le même phénomène a lieu après la ligature de la veine porte.

N° 77. — *Action du maté sur les gaz du sang.*

En commun avec Couty. — (Biologie, 9 juillet 1881.)

Cette substance, injectée dans l'estomac du chien, amène :

1° Une diminution considérable des gaz du sang ;

2° Une proportion plus grande d'oxygène dans le sang veineux.

C'est donc un aliment qui diminue la consommation d'oxygène par les tissus et, par conséquent, un antidéperditeur.

N° 78. — *Thermo-galvanomètre.*

(Société de physique et *La Lumière électrique*, 3 avril 1886.)

J'ai imaginé cet appareil en vue de mesurer la chaleur rayonnante de la peau humaine. Sa forme dérive du galvanomètre décrit figure 2. Il se compose d'un aimant en fer à cheval S N et du tube de fer doux T dont l'ensemble constitue le double champ magnétique de l'instrument. Un cadre métallique C, suspendu par un fil de cocon O, peut se mouvoir dans le champ. Ce cadre est composé de deux moitiés symétriques faites de métaux différents.

La moitié gauche, par exemple, est un fil d'argent; la moitié droite, un fil de palladium, ces deux moitiés se soudent l'une à l'autre en S S'. On a ainsi un circuit thermo-électrique traversé par un courant si les deux soudures S et S' ne sont pas à la même température.

La pile et le galvanomètre sont un seul et même appareil. L'équipage est orienté par un petit brin de fil de fer fixé au cadre. Le miroir M sert à lire les déviations et protège la soudure S' contre le rayonnement. On concentre, au contraire, sur la soudure supérieure S les rayons calorifiques émanant de la source à étudier. L'appareil est absolument

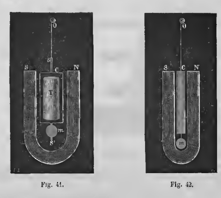


Fig. 41. Fig. 42.

apériodique et aussi astatique qu'on veut. Sa sensibilité est des plus grandes, l'inertie est très faible, et les indications instantanées.

La figure 42 représente le même appareil encore plus simple. Le tube de fer est supprimé, et le couple thermo-électrique se compose simplement de deux fils métalliques (argent-palladium) soudés à leurs extrémités et suspendus au fil de cocon en O.

M. Vernon-Boys imagina plus tard un appareil semblable. Ce savant qui n'avait pas eu connaissance de mes publications antérieures aux siennes, a depuis, proclamé lui-même mes droits à la priorité.

N° 79. — *Régulateur de pression pour autoclave à stérilisation.*

(Notice Wiesnegg, 1877, Académie des sciences, 1880.)

Cet appareil a pour but :

1° De maintenir absolument constante, dans un autoclave, la pression (et, par conséquent la température) de la vapeur, quel qu'en soit le débit;

2° De n'user de combustible que proportionnellement à la vapeur consommée.

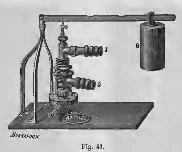


Fig. 43.

3° De rendre la marche de l'instrument automatique, en évitant tout danger d'explosion.

Ce régulateur se compose d'une membrane flexible 8, serrée entre deux plaques métalliques (fig. 43).

La face inférieure de la membrane est mise en rapport avec la vapeur par un tube étroit de plomb se raccordant au tube 1. La face supérieure de la membrane est chargée par un disque métallique 2, qui lui transmet, par la tige 5, la pression du poids 6, agissant avec une force variable par l'intermédiaire d'un levier.

Le tube 3 amène le gaz qui s'en va, par le tube 4, brûler sous la chaudière.

La membrane se trouve chargée comme une soupape de sûreté. Tant que la vapeur n'a pas la pression voulue, le gaz afflue au brûleur; quand la pression est atteinte, le disque 2 est soulevé par la vapeur et

règle l'écoulement du gaz. Dès lors, la pression reste invariable, quel que soit l'écoulement de vapeur.

On peut ainsi chauffer, pendant un temps quelconque, un autoclave sans la moindre surveillance.

N° 80. — *Action des très basses températures sur les ferments.*

(Biologie, 22 octobre 1892.)

Dans le courant de 1890, j'ai entrepris l'étude de l'action des très basses températures sur les fermentations, et principalement sur la levure de bière.

Comme source frigorifique, je me suis servi du chlorure de méthyle, qui bout à — 23 degrés, à la pression ordinaire. J'ai obtenu très simplement une température constante de — 55 degrés avec ce même corps en le mettant dans un vase poreux de pile qui forme alcarazas. Le froid produit par l'évaporation à l'air libre dans ces conditions maintient la température entre — 55 degrés et — 60 degrés automatiquement.

Ni le ferment soluble ni la levure ne sont altérés à cette température.

En mélangeant de la neige d'acide carbonique à cet éther, et en évaporant à l'aide d'une trompe, la température tombe au-dessous de — 100 degrés.

En maintenant la levure de bière à cette température, pendant au moins une heure, j'ai constaté que la levure était encore vivante. Quant au ferment soluble (qui était à part en solution glycérique) il ne dédoublait plus le sucre de canne après avoir été ainsi refroidi.

N° 81. — *Filtration et stérilisation rapides des liquides organiques par l'emploi de l'acide carbonique liquéfié.*

(Biologie, 1891.)

La filtration et la stérilisation rapides, et à *froid*, des liquides organiques est un problème important dans nombre de recherches physiologiques et bactériologiques.

Ces difficultés de technique m'ont amené à combiner un dispositif permettant d'opérer rapidement la filtration, d'une part à l'abri de

l'oxygène, et secondement en soumettant le liquide à filtrer à une première stérilisation que j'appellerai *physiologique*, indépendamment de la stérilisation purement physique due à l'action du filtre. J'ai eu recours pour cela à l'acide carbonique liquéfié. Ce gaz peut être considéré comme le milieu naturel dans lequel vivent les éléments de nos tissus, puisque la lymphe qui constitue le véritable *milieu intérieur* de tous les organismes pluri-cellulaires est saturée d'acide carbonique et contient au contraire très peu d'oxygène. La présence d'une atmosphère d'acide carbonique ne peut donc altérer les humeurs organiques sur lesquelles nous avions à opérer.

De plus, l'acide carbonique liquéfié est fabriqué aujourd'hui industriellement, en France, absolument pur et anhydre sous la haute direction de M. Cailletet, dont les procédés perfectionnés de fabrication permettent de le livrer au commerce à un prix minime (1 fr. 50 le kilog. environ). Ce gaz est expédié dans des tubes d'acier de contenance variable (500 gr. à 10 kilos), où il se trouve à l'état liquide sous une pression moyenne de 55 à 60 atmosphères.

J'ai pensé à utiliser cette énorme pression pour filtrer et stériliser à la fois les liquides organiques à la température ambiante.

Ce nouvel appareil, désigné sous le nom de *stérilisateur-filtre*, se compose essentiellement des éléments suivants (fig. 44) :

Un réservoir d'acide carbonique liquéfié B en tôle d'acier contenant 500 grammes d'acide carbonique.

Un tube stérilisateur constitué de la façon suivante : le bouchon supérieur porte un manomètre M donnant la pression en atmosphères et un robinet à pointe d'acier qui permet de laisser échapper le gaz dans l'atmosphère quand on veut cesser la pression. Le bouchon inférieur porte également un robinet V', à pointe d'acier, et un petit tube latéral *a*, qui permet de recueillir le liquide. La bougie *b* est fixée comme d'habitude par un simple bout de tube en caoutchouc que la pression du gaz applique énergiquement contre elle. La double stérilisation se fait ainsi du même coup, de la façon suivante : après avoir versé le liquide à stériliser dans le même tube FF, on bouche hermétiquement toutes les ouvertures et on ouvre le robinet R du réservoir à acide carbonique B. Le gaz se précipite au contact du liquide, et on en gradue la pression, à volonté, en surveillant la marche de l'aiguille du manomètre. On laisse le liquide sous pression le temps que l'on désire (une heure, vingt-quatre

heures ou plusieurs jours suivant les besoins). On obtient ainsi la stérilisation par le contact de CO^2 ou *stérilisation chimique*. Quand on juge que cette première stérilisation est effectuée, on desserre la vis V', et après avoir mis un récipient stérilisé sous le tube *a*, on recueille le

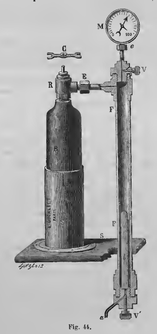


Fig. 44.

liquide, qui pour sortir est obligé de passer à travers la bougie en alumine *b*. On a ainsi une seconde stérilisation par filtration ou *stérilisation physique*. Si on ne désire que la stérilisation chimique, la bougie *b* n'est plus nécessaire, et on peut l'enlever. L'appareil devient alors un petit autoclave à acide carbonique.

Je m'étais servi tout d'abord de bougies en kaolin; j'ai reconnu depuis qu'il y avait grand avantage à remplacer le kaolin par l'alumine. On obtient ainsi des bougies dont les pores sont à la fois plus nombreux et plus petits, de sorte que la filtration se fait beaucoup plus rapidement et que les germes les plus ténus ne traversent pas cette pâte. On retient ainsi par exemple le bacille de la septicémie de la souris, qui passe à travers le kaolin.

Dans bien des cas, lorsque par exemple on a à préparer les liquides provenant d'animaux sains, la filtration sur porcelaine n'est plus nécessaire et la stérilisation par l'acide carbonique suffit largement. La filtration a en effet l'inconvénient de retenir certaines matières colloïdes (surtout quand elle a lieu à basse pression) qui se fixent dans les pores de la bougie en vertu d'une force que Chevreul appelait *affinité capillaire* pour la distinguer de la rétention par *affinité chimique*. Dans ce cas, si on n'a que 2 à 300 grammes de liquide, il suffit de les verser dans le tube FF après avoir retiré la bougie. J'ai trouvé plus pratique de faire un appareil spécial plus grand qui peut recevoir dans une même opération plusieurs tubes ou flacons contenant des liquides différents.

Si on veut une stérilisation absolue (nécessaire avec certains liquides), il suffit de plonger l'autoclave dans de l'eau à 40 ou 45 degrés. La pression de l'acide carbonique peut atteindre alors 95 atmosphères. L'action de la chaleur s'ajoute à celle de l'acide carbonique, et néanmoins tous les ferments solubles sont respectés et les albuminoïdes nullement coagulés.

Action microbicide de l'acide carbonique à haute pression. — J'ai reconnu que l'acide carbonique à ces pressions élevées, jouit de propriétés antiseptiques puissantes. Pour faire ces expériences je supprime la bougie et je la remplace par un bout de baguette de verre rendant le tube filtrant étanche. Le bouchon supérieur est muni, de plus, du manomètre à 100 atmosphères pour étudier l'influence du degré de pression.

Mes expériences ont porté d'abord sur la conservation de certains liquides organiques (sang, lait, urine). Ces liquides se conservent très bien, sans la moindre trace de putréfaction, dans une atmosphère d'acide carbonique à 40 kilos de pression par centimètre carré. Du bouillon et de l'urine contenus dans des tubes de verre et maintenus pendant cinq heures seulement dans l'appareil, ne se sont pas altérés. La stérilisation a donc été aussi efficace dans l'acide carbonique à

40 atmosphères et *à froid* que par un séjour de plusieurs heures dans l'autoclave à 120 degrés. On comprend l'importance de ce résultat dans le cas où il s'agit de stériliser des liquides organiques altérables par la chaleur.

J'ai essayé ensuite de détruire par la pression de CO^2, à 50 atmosphères, des microorganismes bien déterminés, tels que la levure de bière et le bacille pyocyanique. Ces microorganismes ont été tués définitivement. A des pressions inférieures on les rend malades et on obtient dans leur développement un retard d'autant plus grand que la pression et la durée de son action sont elles-mêmes plus considérables.

N° 82. — *Nouvelles fonctions chimiques de l'acide carbonique à haute pression.*

(Biologie, 9 mai 1891.)

A haute pression l'acide carbonique déplace certains acides, comme je l'ai montré par les expériences suivantes.

1° Un tube contenant une solution de silicate de potasse très limpide sort de l'appareil à acide carbonique complètement rempli de silice gélatineuse.

2° Je remplis le même tube d'une solution incolore d'iodure de potassium que je soumets à une pression de 42 atmosphères de CO^2. Au bout de 5 minutes, l'iode se sépare et colore le tube en jaune. Cela tient à ce que, à cette haute pression, l'acide carbonique forme un bicarbonate dégageant 20 calories, tandis que les acides silicique et iodhydrique n'en dégagent que 13,5 en se combinant à la potasse, d'après les tables de Berthelot.

3° A ces hautes pressions, le sang perd sa capacité respiratoire, et l'hémoglobine se transforme en une matière noire insoluble, analogue à du pigment. Ces expériences montrent que les boissons gazéifiées par l'acide carbonique sont également stérilisées quand la pression est suffisante.

TABLE DES MATIÈRES

SECTION I

Électricité d'origine animale ou électrogénèse organique.

SECTION II

Action de l'électricité sur les êtres vivants.
Applications thérapeutiques.

SECTION III

Lumière; ses effets sur les tissus vivants.

SECTION IV

Respiration. — Toxines pulmonaires.

SECTION V

Calorimétrie physiologique et clinique. Divers.

Paris. — Imprimerie L. Maretheux, 1, rue Cassette. — 3277.